

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**

**CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

Pedro Victor de Moraes Guerra

MATRÍCULA: 2121429/1

**Projeto estrutural em *Light Steel Framing* aplicado ao Programa de Habitação Social de Brasília**

Brasília  
2017



PEDRO VICTOR DE MORAES GUERRA

**Projeto estrutural em *Light Steel Framing* aplicado ao Programa de Habitação Social de Brasília**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como um dos requisitos  
para a conclusão do curso de  
Engenharia Civil do UniCEUB– Centro  
Universitário de Brasília

Orientadora: Eng<sup>a</sup> Civil M. Sc  
Nathaly Narváez

Brasília  
2017

PEDRO VICTOR DE MORAES GUERRA

**Projeto estrutural em *Light Steel Framing* aplicado ao Programa de Habitação Social de Brasília**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng<sup>a</sup> Civil M. Sc  
Nathaly Narváez

Brasília, 2017.

**Banca Examinadora**

---

Nathaly Narváez  
Eng<sup>a</sup> Civil M. Sc.

---

Henrique Faria  
Eng. Civil M. Sc.

---

Thiago Araújo  
Eng. Civil

## RESUMO

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de aço do mundo. Apesar disso, o emprego de sistemas construtivos compostos por estruturas metálicas é pouco expressivo se comparado com o potencial do parque industrial brasileiro. Com o crescimento populacional e o avanço da tecnologia, vem sendo estudadas alternativas construtivas que atendam à demanda atual, compatibilizando viabilidade econômica e técnica, à fim de se obter construções de baixo custo e ao mesmo tempo eficientes tecnicamente. Nos últimos anos, o *Light Steel Framing (LSF)* vem se tornando um método construtivo bastante explorado no mercado da construção civil. Por ser algo relativamente novo no país, ainda faltam ferramentas que possibilitam a modelagem e o dimensionamento das estruturas em *LSF*. Nesse contexto, o presente trabalho visa apresentar o sistema construtivo, sistematizando informações sobre os componentes do sistema além de um estudo de caso de habitação social aplicado ao software brasileiro de dimensionamento de estruturas em aço formadas à frio (McalcLSF), comparando os resultados com a norma vigente ABNT NBR 14762/2010.

**Palavras-Chave:** *LSF*. Software. Estruturas. Aço. Mercado. Construção. Viabilidade. Técnica

## **ABSTRACT**

Brazil is among the 10 largest steel manufacturers in the world. Despite this, the use of constructive systems composed of metallic structures is not very significant when compared to the potential of the Brazilian's industrial park. With the population growth and the advancement of technology, constructive alternatives that meet the current demand have been studied, making economic and technical feasibility compatible, in order to achieve low cost works and simultaneously with technological efficiency. In recent years, *Light Steel Framing (LSF)* has become a constructive method widely exploited in the construction market. Because it is relatively new in the country, there are still lack of tools that enable modeling and scaling of *LSF* structures. In this context, this work aims to present the constructive system, to systematize information on the components of the system, as well as a case study of social housing developed with a Brazilian software for designing cold formed steel structures, comparing the results with a current norm ABNT NBR 14762/2010.

**Keywords:** *LSF*. Software. Structures. Steel. Market. Construction. Viability. Technique.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. METODOLOGIA .....	4
4. JUSTIFICATIVA .....	5
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
5.1. Produção Siderúrgica no Brasil .....	6
5.2. <i>Light Steel Frame</i> no Brasil .....	7
5.3. Vantagens e desvantagens .....	8
5.4. Características do Sistema Construtivo <i>Light Steel Framing</i> .....	9
5.4.1. Perfis Formados a Frio .....	9
5.5. Componentes Estruturais .....	15
5.5.1. Painéis .....	15
5.5.1.1. Painéis estruturais ou auto-portantes .....	16
5.5.1.2. Abertura em painéis .....	16
5.5.1.3. Padronização de Painéis .....	18
5.5.1.4. Padronização de encontros .....	20
5.6. Lajes .....	21
5.6.1. Vigamento de Piso .....	21
5.7. Coberturas .....	24
5.7.1. Tipos de Coberturas .....	24
5.7.1.1. Coberturas Estruturadas com Caibros e Vigas .....	26
5.7.1.2. Coberturas Estruturadas com Tesouras ou Treliças .....	29
5.8. Ligações .....	33
5.9. Fundações .....	35
5.9.1. Radier .....	36
5.9.2. Sapata Corrida .....	36

5.10.	Ancoragem .....	37
5.10.1.	Ancoragem Química com barra rosca .....	37
5.10.2.	Ancoragem mecânica .....	38
5.11.	Métodos de Montagem .....	39
5.11.1.	Método Stick .....	39
5.11.2.	Método por painéis .....	40
5.12.	Análise Estrutural .....	41
5.12.1.	Estados-Limites .....	41
5.12.1.1.	Estados limites últimos .....	41
5.12.1.2.	Estados limites de serviço .....	41
5.13.	Ações .....	42
5.13.1.	Ações permanentes .....	42
5.13.2.	Ações permanentes diretas .....	42
5.13.3.	Ações variáveis .....	42
5.13.3.1.	Ação do vento .....	43
5.14.	Combinação de ações .....	43
5.14.1.	Combinações últimas .....	44
6.	Estudo de caso .....	45
6.1.	Projeto .....	45
6.2.	Definição das ações na estrutura .....	50
6.3.	Combinação e solicitação de cargas .....	54
6.4.	Modelagem do projeto no software McalcLSF .....	55
7.	Análise de resultados .....	60
7.1.	Montante .....	61
7.2.	Viga de entepiso .....	63
8.	CONCLUSÃO .....	70
9.	BIBLIOGRAFIA .....	71
10.	Anexos .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nomenclatura Perfis Estruturais.....	10
Figura 2: Moldagem prensa dobradeira .....	12
Figura 3: Condição de contorno dos elementos .....	13
Figura 4: Painel típico <i>LSF</i> .....	15
Figura 5: Transmissão de cargas à fundação .....	16
Figura 6: Tipos de verga .....	17
Figura 7: Detalhe ombreiras .....	18
Figura 8: Painel SS .....	19
Figura 9: Painel DD .....	19
Figura 10: Painel SD .....	19
Figura 11: Estrutura de piso .....	21
Figura 12: Vigas de piso.....	22
Figura 13: Abertura nos perfis para passagem de tubulação .....	23
Figura 14: Cobertura Plana .....	25
Figura 15: Treliças Planas.....	25
Figura 16: Alinhamento caibros e vigas .....	26
Figura 17: Telhado estruturado com caibros .....	27
Figura 18: Cumeeira composta por perfis U e Ue .....	27
Figura 19: Cumeeira de telhado estruturado com caibros.....	28
Figura 20: Efeito Abertura .....	28
Figura 21: Espigão formado a partir de dois perfis U .....	29
Figura 22: Elementos de uma tesoura .....	31
Figura 23: Painel de fechamento do oitão .....	31
Figura 24: Painel de beiral.....	32
Figura 25: Detalhe de fixação de painel de beiral .....	32
Figura 26: Painel de beiral em balanço .....	33
Figura 27: Fundação tipo radier .....	36
Figura 28: Fundação do tipo sapata corrida.....	37
Figura 29: Ancoragem química com barra roscada.....	38
Figura 30: Instrução de montagem dos chumbadores .....	39
Figura 31: Representação Método <i>Stick</i> .....	40



Figura 32: Transporte painéis pré-fabricados.....	40
Figura 33: Planta de Arquitetura.....	48
Figura 34: Renderização do projeto .....	49
Figura 35 - Relações geométricas.....	51
Figura 36: Coeficiente de forma e pressão externas das paredes .....	52
Figura 37: Coeficiente de forma e pressão externas do telhado .....	53
Figura 38: Interface do módulo <i>LSF</i> .....	58
Figura 39: Renderização dos <i>frames</i> .....	59
Figura 40: Interface módulo Mcalc3D.....	59
Figura 41: Eixos de referência.....	61
Figura 42: Perfil Ue 90 x 40 x 12 x 0,95 (mm) .....	61
Figura 43: Perfil Ue 90 x 40 x 12 x 0,95 (mm).....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Produção siderúrgica brasileira .....	6
Tabela 2 - Produção de aço América do Sul .....	7
Tabela 3 - Aços mais empregados no sistema LSF .....	11
Tabela 4 - Comparativo entre prensa-dobradeira e perfiladeira .....	12
Tabela 5 - Tipos de encontros mais comuns .....	20
Tabela 6 - Elementos que constituem a laje .....	23
Tabela 7 - Tipologias mais utilizadas de tesouras .....	30
Tabela 8 - Tipos de parafuso .....	34
Tabela 9 - Ações variáveis .....	43
Tabela 10 - Especificações mínimas das unidades habitacionais .....	45
Tabela 11 - Características do empreendimento .....	49
Tabela 12 - Ações permanentes .....	50
Tabela 13 - Valores coeficientes de forma externo .....	52
Tabela 14 - Combinações vento .....	53
Tabela 15 - Combinações de esforços .....	54
Tabela 16 - Grupos de rotina $M_{calcLSF}$ .....	56
Tabela 17 - Perfis utilizados .....	57
Tabela 18 - Combinações de esforços montante .....	62
Tabela 19: Esforços resistentes .....	62
Tabela 20: Combinação de esforços viga .....	64
Tabela 21: Esforços resistentes .....	65

## **ÍNDICE DE ABREVIações**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

*LSF – Light Steel Framing*

MCMV – Minha Casa Minha Vida

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PFF – Perfis Formados a Frio

SAE - Society of Automotive Engineers

## 1. INTRODUÇÃO

O *Light Steel Framing (LSF)* é um sistema construtivo de concepção racional que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados à frio de aço galvanizado (Freitas, Castro, 2006). É um sistema construtivo que devido à sua industrialização, proporciona maior agilidade e produtividade em seu processo executivo se comparado ao sistema mais comumente utilizado no Brasil.

Segundo Rodrigues (2006, p.10) existem dois conceitos básicos relativos ao Sistema Light Steel Framing: Frame é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação, sendo composto por elementos leves – os perfis formados a frio (PFF) - Framing é o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos. O método framing teve início, nos Estados Unidos, em um período onde este começava sua conquista por territórios. Para atender ao volume e a velocidade do crescimento populacional, a fim de solucionar a demanda por habitações, foi necessário recorrer a um método construtivo que utilizasse o material disponível na região e que atendesse aos requisitos requeridos naquele momento. Naquela ocasião, o material disponível e em maior abundância era a madeira, a partir daí as construções em *Wood Frame* tornaram o sistema construtivo mais comum nos EUA.

O mercado brasileiro atual, após a chegada do sistema construtivo ao país, conta com escassas ferramentas exclusivas (a maioria delas importadas) para projetar e dimensionar uma estrutura em *Light Steel Framing*. Diante deste cenário, com o setor se expandindo gradativamente, fez-se necessário cada vez mais a utilização de ferramentas computacionais com adequação à Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) que facilitem e auxiliem o engenheiro ou arquiteto à realização de um projeto estrutural compostos por perfis formados a frio.

Visando a necessidade de um software que desempenhassem essas funções, a Stabile Engenharia desenvolveu um programa para dimensionamento exclusivo de estruturas LSF. O mCalcLSF é um software ainda em fase de desenvolvimento baseadas nas normas de dimensionamento de perfis formados a frio (ABNT NBR

14762/2010), e possui como principal objetivo fornecer projetos completos em estruturas de *Light Steel Framing*.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Definir o sistema *Light Steel Framing*

Modelar, analisar e dimensionar um projeto residencial do programa de habitação social de Brasília, no sistema *Light Steel Framing* por meio do software estrutural Stabile - McalcLSF comparando os resultados com as normas vigentes: ABNT NBR 14762/2010, NBR 8800/2008 e NBR 6123/1988

### **2.2. Objetivos específicos**

Analisar as vantagens e desvantagens de um projeto residencial em *Light Steel Framing*.

Apresentar o Software Stabile-McalcLSF e suas funcionalidades

Modelar, analisar e dimensionar uma estrutura de projeto residencial unifamiliar em *Light Steel Framing* através do software estrutural Stabile-McalcLSF

Comparar os resultados encontrados no software estrutural com os cálculos realizados levando em consideração as normas brasileiras de dimensionamento de estruturas compostas por perfis formados a frio ABNT NBR 14762/2010 e Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações NBR 15253/2014

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido com base nas seguintes etapas: Inicialmente uma revisão bibliográfica das normas e manuais nacionais e internacionais, em seguida foi realizado um projeto estrutural de uma residência familiar por meio de um software comercial. Por fim, uma comparação com as normas nacionais ABNT NBR14762/2010, NBR 8800/2012 e NBR 6355/2012 foi efetuada para validar os resultados do programa.

A revisão bibliográfica do presente trabalho foi fundamentada nos manuais fornecidos pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA. Sabe-se que o sistema *LSF* é composto por diversos subsistemas (painéis, telhados, lajes) constituídos de perfis formados a frio. A NBR 14762/2010 regulamenta o dimensionamento desses perfis, no entanto, não padroniza e detalha a execução e montagem dos subsistemas. Diante disso, o CBCA desenvolveu os manuais Steel Framing: Arquitetura (Freitas e de Crasto, 2006) e Steel Framing: Engenharia (Rodrigues, 2006) que apresentam os aspectos detalhados do projeto para edificações compostas pelo *LSF*, com o objetivo de orientar engenheiros, arquitetos e demais profissionais da área para a concepção da mesma.

O projeto utilizado no estudo de caso foi de uma edificação popular unifamiliar do programa de habitação social Minha Casa Minha Vida (MCMV). A modelagem, análise e dimensionamento da estrutura foi realizado por meio do software desenvolvido exclusivamente para o sistema *Light Steel Framing*, MCalcLSF. A licença do programa foi concedida pelo diretor da empresa Stabile Engenharia LTDA.

Para realizar a comparação com a norma ABNT NBR 14762/2010, foram selecionados dois elementos estruturais: um montante e uma viga de entrepiso. Os cálculos dos esforços resistentes gerados pelo software foram verificados utilizando uma planilha de cálculo baseada na norma acima citada.

#### **4. JUSTIFICATIVA**

O mercado do sistema construtivo *LSF* no Brasil conta com escassas ferramentas computacionais, exclusivas e integradas, que possam proporcionar ao engenheiro ou arquiteto, auxílio no cálculo estrutural e, ao mesmo tempo, gerar a modelagem e visualização dos montantes ou demais estruturas que compõem o sistema. O *McalcLSF* é um programa desenvolvido com base nas normas NBR 14762/2010, NBR 8800/2008 e NBR 6355/2012. Preenche uma lacuna existente no mercado de softwares de dimensionamento para os sistemas de estruturas em aço formados à frio. O *McalcLSF* encontra-se em fase de desenvolvimento, no entanto, com as ferramentas disponíveis já se é possível elaborar um projeto estrutural completo em *Light Steel Framing*. Sendo assim, o trabalho desenvolvido foi motivado em atestar o software estrutural, verificando se o mesmo se encontra adequado às normas em que foi desenvolvido.



## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1. Produção Siderúrgica no Brasil

Segundo dados consolidados da Worldsteel Association, referentes ao ano de 2015, demonstram que o Brasil foi o 8º maior produtor de aço bruto do mundo com 33,2 milhões de toneladas. No primeiro trimestre de 2017 a produção brasileira de aço foi de 8,2 milhões de toneladas o que representa, segundo o Instituto Aço Brasil, um aumento de 10,9% quando comparada com os primeiros 3 meses de 2016. A produção de laminados, matéria prima dos perfis utilizados no *Light Steel Framing*, em 2017 foi de 5,4 milhões de toneladas, segundo o Instituto, esse número caracteriza um acréscimo de 6,9% comparado ao primeiro trimestre do ano anterior.

Na tabela 1 é possível verificar os dados preliminares estatísticos da produção siderúrgica brasileira. Os números representam uma comparação na produção de vários tipos de aço entre os anos 2015 e 2016. Segundo o presidente executivo do Instituto Aço Brasil, Mello (2017) “Os números predominantemente negativos espelham a gravidade do que viveu o setor do aço no Brasil no ano passado. Sem dúvida nenhuma, o ano de 2016 se caracterizou pela pior crise já enfrentada pela indústria do aço em toda a sua história.”

Tabela 1- Produção siderúrgica brasileira

PRODUTOS	JAN/DEZ		16/15	OUT	NOV	DEZEMBRO		16/15	ÚLTIMOS
	2016(*)	2015	(%)	2016	2016	2016(*)	2015	(%)	12 MESES
AÇO BRUTO	30.212,3	33.256,1	(9,2)	2.720,2	2.426,1	2.148,6	2.461,7	(12,7)	30.212,3
LAMINADOS	20.894,3	22.641,1	(7,7)	1.934,6	1.775,7	1.399,6	1.514,3	(7,6)	20.894,3
PLANOS	12.274,0	13.388,3	(8,3)	1.191,3	1.110,7	1.026,5	1.073,6	(4,4)	12.274,0
LONGOS	8.620,3	9.252,8	(6,8)	743,3	665,0	373,1	440,7	(15,3)	8.620,3
SEMI-ACABADOS P/ VENDAS	8.306,8	9.117,4	(8,9)	647,1	512,7	858,3	869,0	(1,2)	8.306,8
PLACAS	6.913,2	7.982,4	(13,4)	544,9	393,5	635,8	736,6	(13,7)	6.913,2
LINGOTES, BLOCOS E TARUGOS	1.393,6	1.135,0	22,8	102,2	119,2	222,5	132,4	68,1	1.393,6
FERRO-GUSA (Usinas Integradas)	24.740,8	27.803,4	(11,0)	2.233,7	2.085,3	1.963,3	2.276,3	(13,8)	24.740,8

(\*) Dados Preliminares.

Fonte: Aço Brasil

Fonte: [www.acobrasil.org.br](http://www.acobrasil.org.br) (Acessado em: Março/2016)

Ainda assim, o Brasil é um dos maiores produtores de aço do mundo e indiscutivelmente o maior produtor da América do Sul. A figura 2 representa a produção

total de aço no continente sul americano de 2006 a 2015, onde é possível comparar a produção do Brasil com a dos outros países.

Tabela 2 - Produção de aço América do Sul

Table 1 (continued)	Total Production of Crude Steel *									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Argentina	5 533	5 387	5 541	4 013	5 138	5 611	4 995	5 186	5 488	5 028
Brazil	30 901	33 782	33 716	26 506	32 948	35 220	34 524	34 163	33 897	33 256
Chile	1 607	1 678	1 549	1 308	1 011	1 615	1 671	1 323	1 079	1 112
Colombia	1 211	1 245	1 053	1 052	1 208	1 287	1 302	1 236	1 208	1 211
Ecuador	85	87	128	259	372	463	425	570	667	720
Paraguay	115	95	83	54	59	30	44	45	47	48
Peru	896	881	1 110	718	880	877	981	1 069	1 078	1 082
Uruguay	57	71	86	57	65	81	78	91	94	97
Venezuela	4 864	5 005	4 224	3 808	2 207	2 980	2 359	2 139	1 485	1 345
<b>South America</b>	<b>45 269</b>	<b>48 232</b>	<b>47 490</b>	<b>37 776</b>	<b>43 888</b>	<b>48 165</b>	<b>46 379</b>	<b>45 822</b>	<b>45 043</b>	<b>43 899</b>

Fonte: www.worldsteel.org (2016)

## 5.2. Light Steel Frame no Brasil

Apesar do Brasil estar entre os dez maiores produtores de aço mundial, o sistema construtivo predominante ainda é o concreto armado. No entanto, já é possível encontrar diversas edificações e coberturas em *Light Steel Framing* sendo empregadas em residências, comércios, galpões, escolas entre outras. Como afirma Crasto e Freitas (2006) o sistema construtivo artesanal é caracterizada pela baixa produtividade e principalmente pelo grande desperdício. Devido a essa realidade, já é possível encontrar construtores no país que apostam na otimização de suas obras e investem em técnicas e processos construtivos mais eficientes, a fim de melhorar a eficiência dos serviços prestados e a qualidade dos produtos entregues.

Por atender às exigências do mercado atual, o *Light Steel Framing* tem se tornado um método construtivo muito popular no país. A facilidade de montagem, execução das ligações, transporte e manuseio devido à leveza dos elementos, faz com que o sistema tenha uma produtividade elevada, de modo que a obra não tenha atrasos. Gorgolewski (2006) afirma que ao se utilizar o sistema *LSF* uma série de vantagens são comprovadas, como: alta resistência, baixo peso (tanto da estrutura como dos demais componentes), grande precisão dimensional, resistência ao ataque

de insetos e os materiais utilizados são quase que totalmente recicláveis, contribuindo para a sustentabilidade da edificação.

O *LSF* é impulsionado em um mercado já saturado de atrasos e desperdícios, que geram uma série de interferências no orçamento de um projeto. O sistema convencional possui diversos elementos (estrutural, vedação) compostos pela agregação de um ou mais insumos, o que aumenta o número de patologias além de não haver uma precisão exata no levantamento de materiais.

### 5.3. Vantagens e desvantagens

A utilização do sistema *Light Steel Framing* possui uma extensa lista de vantagens. São elas:

- Sistema construtivo industrializado, rigorosos controles de qualidade na produção da matéria prima;
- Maior precisão dimensional;
- Facilidade de montagem manuseio e transporte devido a leveza dos elementos;
- Redução dos custos com fundação se comparado com alvenaria;
- Construção com baixíssimo uso de recursos naturais (água);
- O aço é um material 100% reciclável;
- Durabilidade e longevidade proporcionada pelo processo de galvanização das chapas utilizadas na fabricação dos perfis;
- Facilidade nas instalações hidráulicas e elétricas;
- Fidelidade orçamentária.
- Menor prazo de execução da obra
- Resíduo mínimo na obra;

- Devido à sua comprovada resistência, o aço é capaz de vencer grandes vãos, eliminando colunas e paredes intermediárias. Com isso, oferece maiores espaços e confere flexibilidade na concepção e execução de projetos;

A principal desvantagem está no preconceito das pessoas à implementação de um sistema constituídos de *frames*. Apesar dos países onde há uma maior atividade sísmica empregar o *LSF*, por conta de sua elevada resistência, no Brasil ainda há uma certa relutância em adotar o sistema. Isto ocorre devido ao fato do país utilizar o sistema artesanal desde de seus primórdios, fazendo com que os habitantes se privassem somente a esse método, não conhecendo à fundo outras tecnologias de construção. Além disso, tudo que foge ao tradicional em qualquer área, desperta sensações de suspeita e insegurança. Tamanha resistência poderá dificultar comercialmente uma construtora que deseje adotar o sistema Light Steel Framing.

O Light Steel Framing é um sistema construtivo onde o projeto e a execução necessitam estar precisamente alinhados. Não são tolerados nenhum erro, desvios ou desperdícios em sua implementação, diferentemente dos sistemas convencionais. Por essa razão, a mão de obra precisa ser especializada, não permitindo que qualquer pessoa sem conhecimento técnico realize os procedimentos executivos que vão da leitura dos projetos à montagem dos painéis e demais elementos estruturais.

#### **5.4. Características do Sistema Construtivo *Light Steel Framing***

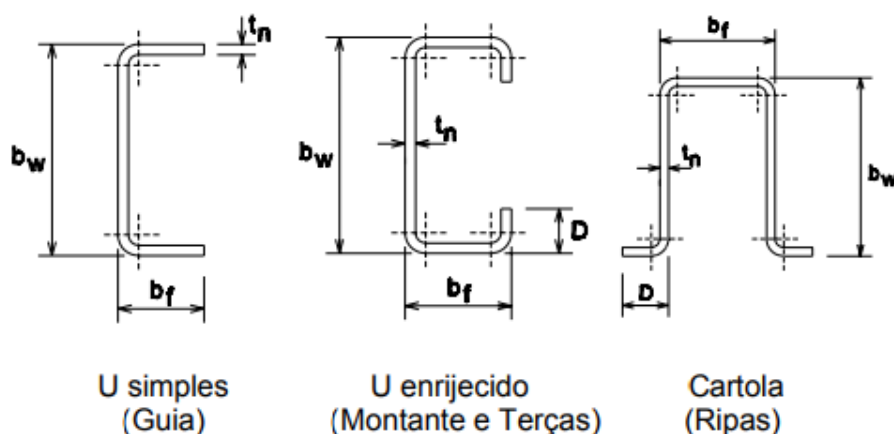
##### **5.4.1. Perfis Formados a Frio**

Segundo Paiva (2014) os perfis formados a frio, também chamados de perfis leves, são de uso generalizado em diversas aplicações das estruturas de aço, que inclui galpões, coberturas, passarelas, prédios e estandes industriais. Os perfis de aço para fins estruturais são subdivididos em três grandes grupos que diferenciam a forma de obtenção, dimensões e capacidade estrutural. O primeiro grupo é formado por perfis laminados a quente, produzido em usinas siderúrgicas. O segundo grande grupo é composto por perfis soldados, obtidos por soldagem de tiras de chapas de aço. O terceiro grupo são os perfis estruturais formados a frio, obtidos a partir da

dobragem de chapas em temperatura ambiente. O primeiro e segundo grupo de perfis estruturais em aço são normatizados através da ABNT NBR 8800:2008 enquanto os procedimentos de dimensionamento em perfis formados a frio são estabelecidos pela ABNT NBR 14762/2010.

A ABNT NBR 14762/2010 define as composições de um perfil estrutural subdividindo-as em elementos planos (mesas, almas e enrijecedores) e elementos curvos (dobras ou esquinas).

Figura 1: Nomenclatura Perfis Estruturais



Fonte: CBCA- Centro Brasileiro da Construção em Aço (2014)

Segundo Carvalho, Grigoletti e Barbosa (2014) as usinas siderúrgicas produzem um número considerável de categorias de chapas (laminadas a quente, chapas grossas, chapas finas a frio etc.). Cabe ao engenheiro estrutural conhecer os limites de escoamento e ruptura de cada uma dessas chapas, e se as espessuras são adequadas ao dobramento. A tabela 2 apresenta os aços mais comumente utilizados e os respectivos limites de escoamento e ruptura.

Tabela 3 - Aços mais empregados no sistema LSF

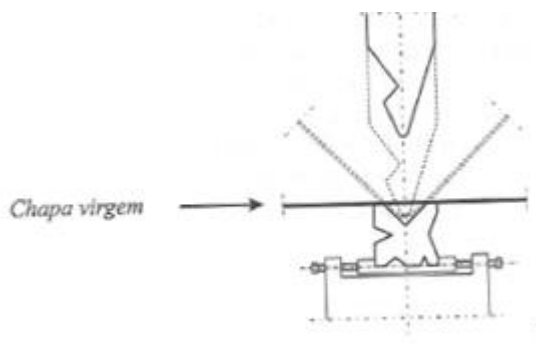
<b>Aço</b>	<b>Fy (MPa)</b>	<b>Fu (MPa)</b>	<b>Espessuras Disponíveis (mm)</b>	<b>Características</b>
SAE 1010	180	330		Aço comercial
ASTM A36	250	400	2,0 a 150	Estrutural
ASTM A570 GR360	250	365	2,0 a 5,84	Estrutural
COS-AR-COR 400	250	380	2,0 a 100	Aço Patinável
COS-CIVIL 300	300	400	2,0 a 150	Estrutural Especial
USI-SAC-300	300	400	2,0 a 12,7	Aço Patinável
COS-AR-COR 400 E	300	380	2,0 a 12,7	Aço Patinável
CSN-COR 420	300	420	2,0 a 6,3	Aço Patinável
COS-CIVIL 350	350	490	2,0 a 50,8	Estrutural Especial
ASTM A570 GR50	345	450	2,0 a 5,84	Estrutural
USI-SAC-350	350	485	2,0 a 12,7	Aço Patinável
USI-LN 380	380	490	2,0 a 12,7	Estrutural Especial
COS-AR-COR 500	375	490	2,65 a 50,8	Aço Patinável

Fonte: Carvalho, 2014, p.45

Os PFF são produzidos através de prensas dobradeiras ou perfiladeiras que dobras e modelam chapas de aço com dimensões pré-definidas para perfis ou peças com tamanhos definidos. Segundo Celtin e Helman ([2005](#)) a dobra a frio em dobradeiras hidráulicas é um processo de conformação mecânica no qual um material (normalmente uma chapa metálica) é submetido a esforços aplicados em duas direções diferentes para provocar uma deformação plástica, mudando a forma de uma superfície plana para duas superfícies concorrentes, em ângulo, com raio de

concordância em sua junção. A figura 4 ilustra a moldagem da chapa através da prensa dobradeira.

Figura 2: Moldagem prensa dobradeira



Fonte: CARVALHO, 2014, p. 38

O processo da produção de perfis utilizando as perfiladeiras, consiste em modelar a chapa de aço por meio da passagem do material por uma série de cilindros onde cada um deles impõem uma dobra, até se obter o perfil final. A produção através desse método, consiste em um processo industrializado com alta produtividade, utilizado principalmente por empresas que comercializam o perfil.

Tabela 4 - Comparativo entre prensa-dobradeira e perfiladeira

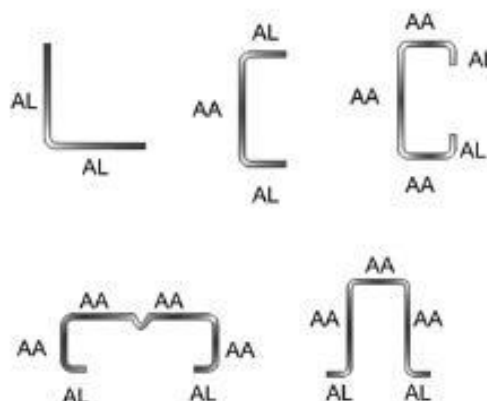
<b>Prensa dobradeira</b>	<b>Perfiladeira</b>
Muita flexibilidade para produzir diversas formas de perfis.	Pouca flexibilidade para produzir diversas formas de perfis
Com poucas ferramentas se produz uma série de grandes perfis.	Cada tipo de perfil necessita de um trem de perfilação
Baixo custo de equipamento	Alto custo do equipamento
Regulagem simples do equipamento	Regulagem do equipamento requer cuidados
Tensões residuais menores que na perfiladeira	Tensões residuais maiores que na dobradeira
Produção Pequena	Produção Grande

Perfis Curtos (máx. 6m)	Perfis com comprimento ilimitado
Razoável de obra envolvida	Pouca mão de obra envolvida

Fonte: Carvalho, 2014, p.39

Segundo Silva, Igor e E Silva (2014), a condição de contorno dos elementos de chapa, tal qual nas barras, influi na capacidade resistente. A norma de dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio designa dois tipos de condições de contorno para os elementos de chapa. O elemento com bordas vinculadas (elemento AA) possui as duas bordas vinculadas a outros elementos na direção longitudinal do perfil. O elemento com borda livre (elemento AL) é o elemento plano vinculado a outro elemento em apenas uma borda na direção longitudinal do perfil.

Figura 3: Condição de contorno dos elementos



Fonte: Silva, 2014, p.27

Para os PFF, a norma determina que a relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento  $f_u/f_y$  deve ser maior ou igual a 1,08 e o alongamento após a ruptura não deve ser menor do que 10%.

Os perfis metálicos caracterizam-se por apresentar instabilidades em toda a barra (globais) ou se forem constituídos por chapas finas, enrugamentos de uma ou mais partes que compõe o perfil (Local). Para flambagem local, é levado em conta uma redução de área comprimida do perfil, decorrente do conceito de largura efetiva.



Sendo assim, a norma ABNT NBR 14762/2010 prevê os seguintes métodos para a avaliação da flambagem local do perfil:

- Método da largura efetiva (MLE): A flambagem local é considerada mediante a propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da seção transversal das barras, provenientes do cálculo das larguras efetivas dos elementos totalmente ou parcialmente comprimidos. Deve ser considerada também a flambagem distorcional para barras submetidas à compressão e para barras submetidas a flexão. “Método clássico e consagrado, que exige um razoável esforço de cálculo e que considera de forma simplista o comportamento dos elementos que formam um perfil.” (Carvalho, Grigoletti e Barbosa, 2014)
- Método da seção efetiva (MSE): A flambagem local é considerada mediante a propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da seção transversal das barras, calculadas diretamente conforme o item 9.7.2 (Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção) para barras submetidas à compressão, e os itens 9.8.2.1 e 9.8.2.2 (Início de escoamento da seção efetiva e Flambagem lateral com torção) para barras submetidas a flexão. Deve ser considerada a flambagem distorcional conforme o item 9.7.3 (Flambagem distorcional) para barras submetidas à compressão e o item 9.8.2.3 para barras submetidas à flexão.
- Método da resistência direta (MRD): Conforme o anexo C da norma, com base nas propriedades geométricas da seção bruta e em análise geral de estabilidade elástica que permita identificar, para o caso em análise, todos os modos de flambagem e seus respectivos esforços críticos.

## 5.5. Componentes Estruturais

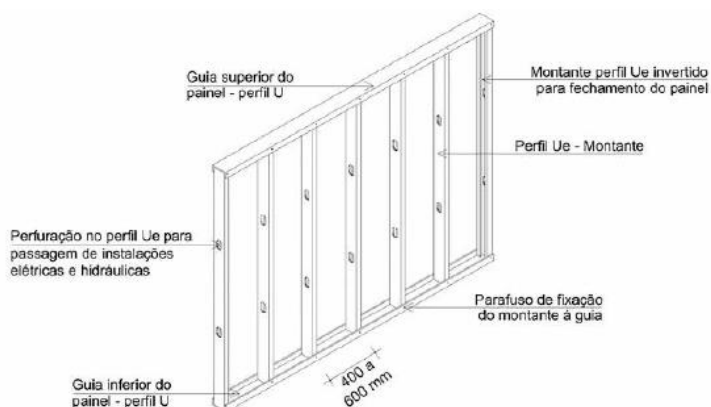
### 5.5.1. Painéis

Segundo Santiago, Freitas e Castro (2012, p. 32), os painéis do sistema *Light Steel Framing* podem não só compor as paredes de uma edificação servindo como divisórias de fechamento e isolamento como também funcionar sendo o sistema estrutural do mesmo. O principal conceito das estruturas em *LSF*, é dividir toda a edificação em uma grande quantidade de elementos estruturais, à fim de que cada uma resista a uma parcela da carga total (ConsulSteel 2002).

Os painéis são compostos por elementos verticais de perfis formados a frio com seções transversais tipo U enrijecido (Ue) atribuídos em grande parte como montantes. Os elementos horizontais com seções tipo U são utilizados como guias, responsáveis por fixar os montantes e definir as dimensões dos painéis. Os montantes podem ser simples, onde há a utilização de apenas um perfil nos painéis, ou compostos utilizando-se dois ou mais perfis unidos através de fixação com parafusos autobrocantes.

A modulação ou distância entre os montantes, é utilizada usualmente de 400mm ou 600mm. A definição desse espaçamento é determinada pela solicitação em que cada perfil será submetido. Quanto maior o espaçamento, menor será a quantidade de perfis atuando como montantes e consequentemente maior será a carga que esses perfis terão que absorver.

Figura 4: Painel típico *LSF*

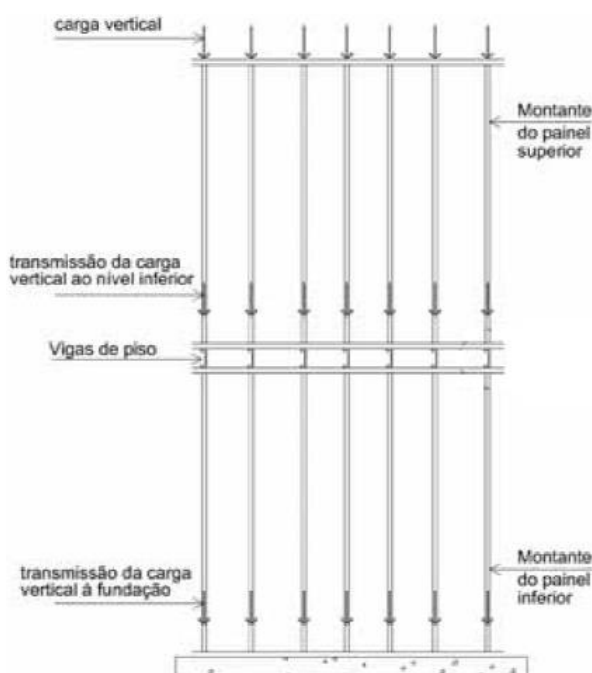


Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 33

#### 5.5.1.1. Painéis estruturais ou auto-portantes

Os painéis responsáveis por absorver cargas horizontais (ventos) e verticais (peso próprio e sobrecarga) transferindo-as para a fundação, são denominados painéis auto-portantes. Os montantes que compõem esses painéis, transferem as cargas aplicadas verticalmente por meio do contato direto com suas almas, tendo que todas as seções dos perfis coincidir umas com as outras, para dar origem ao conceito de estrutura alinhada. Quando há a impossibilidade de se manter o alinhamento dessas estruturas, é necessário a inserção de uma viga sob o painel capaz de distribuir uniformemente as cargas excêntricas.

Figura 5: Transmissão de cargas à fundação



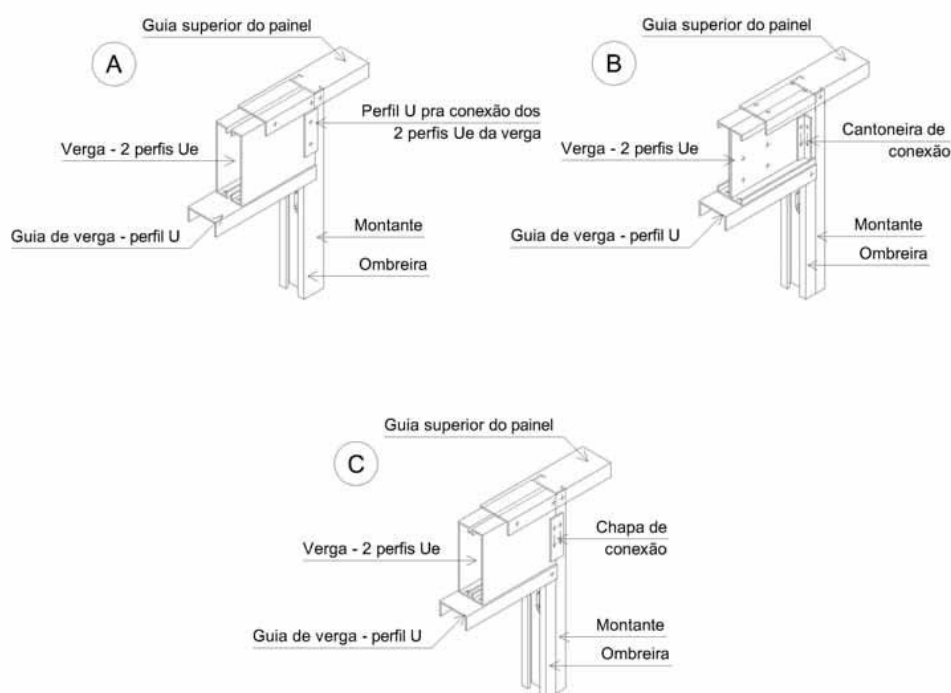
Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 32

#### 5.5.1.2. Abertura em painéis

Para a realização de aberturas em painéis, seja para a fixação de portas e janelas ou não, é necessário a inserção de elementos estruturais capazes de redistribuir o carregamento dos montantes descontinuados para os perfis que

delimitam lateralmente o vão. Segundo Freitas e Crasto (2006) as vergas podem ter várias combinações de perfis, mas geralmente é utilizada a combinação de dois perfis Ue conectados por meio de uma peça aparafusada em cada extremidade, ligadas por meio das mesas inferiores a um perfil U, denominado guia de verga. A figura 8 representa os tipos mais comuns de vergas.

Figura 6: Tipos de verga



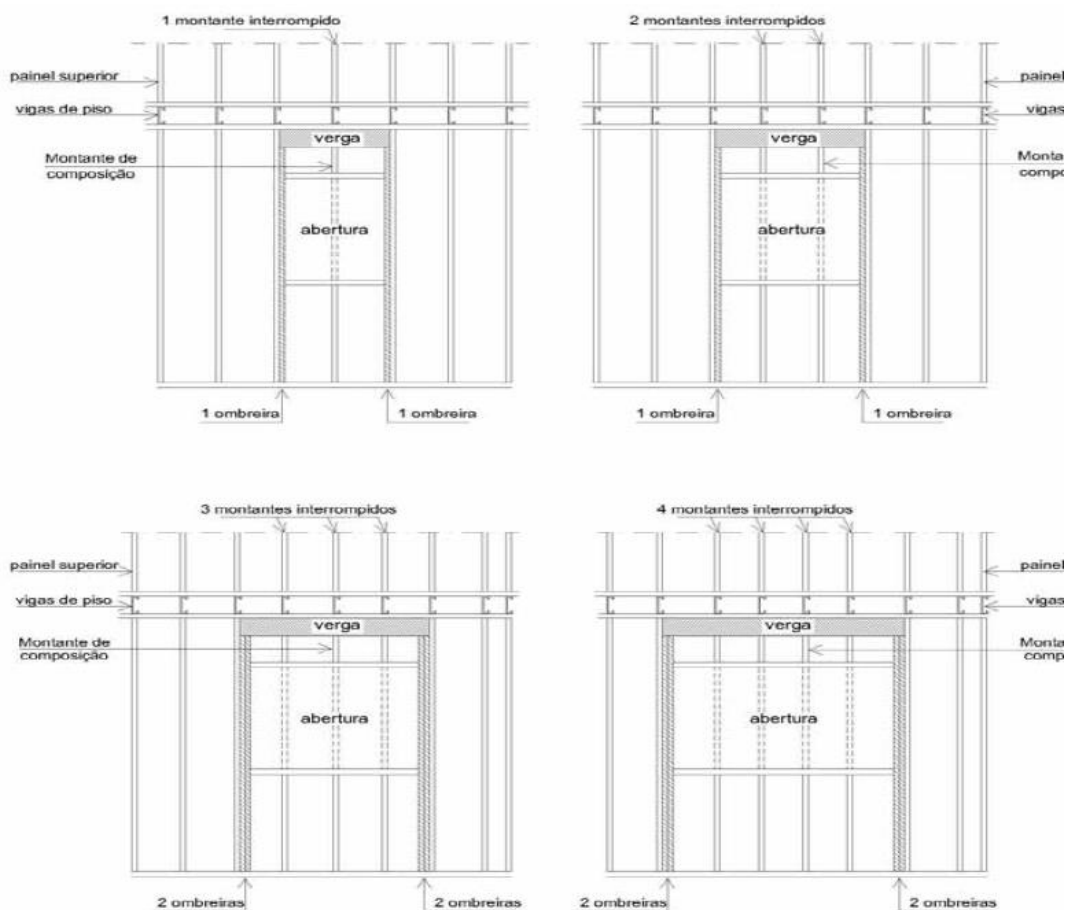
Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 35

As guias das vergas são fixadas às ombreiras para evitar a rotação das mesmas, além de permitir a fixação de montantes de composição (*cripples*), que não possuem função estrutural e ficam localizados entre a verga e a abertura, apenas para a fixação das placas de fechamento. O número de ombreiras pode ser estimado através do seguinte cálculo:

$$N^{\circ} \text{ de Ombreiras} = \frac{n^{\circ} \text{ de montantes interrompidos}}{2}$$

Caso o valor seja ímpar, deve-se somar 1.

Figura 7: Detalhe ombreiras



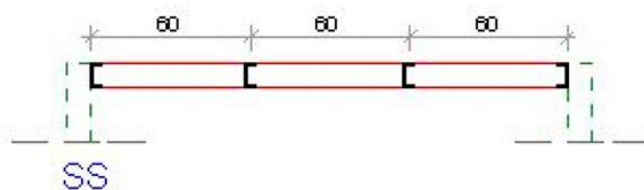
Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 32

### 5.5.1.3. Padronização de Painéis

Em função das possibilidades de conexão entre si, os painéis podem ser divididos em internos (SS), externos (DD) e intermediários (SD).

O painel do tipo SS é utilizado em grande maioria como painel interno. Possui um acabamento simples em suas extremidades, contando com apenas um perfil metálico para fazer o fechamento do painel. Desta forma, é permitido a conexão com outros painéis, tanto perpendicularmente como a fixação lado a lado.

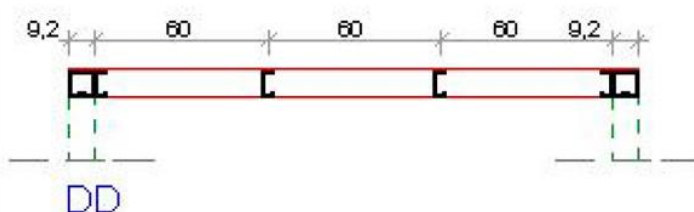
Figura 8: Painei SS



Fonte: Portal Metalica (2017)

Os painéis DD são utilizados para o fechamento externo de um ambiente. Possui as extremidades acabadas com perfis duplos, o que fornece o encaixe perpendicular a outros painéis.

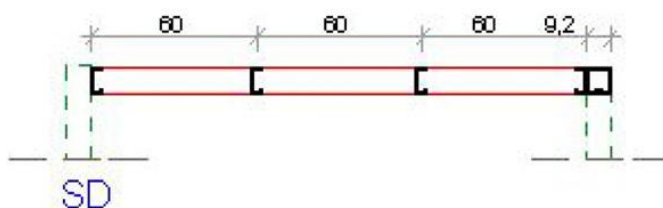
Figura 9: Painei DD



Fonte: Portal Metalica (2017)

Os painéis do tipo SD são utilizados em várias situações por possuir um acabamento de perfis duplos em uma extremidade e simples na outra. Desta forma, é possível fazer diferentes conexões entre outros painéis.

Figura 10: Painei SD

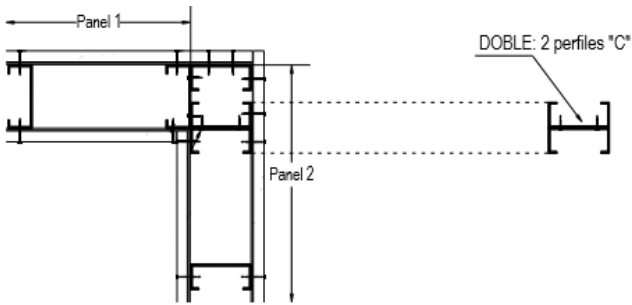
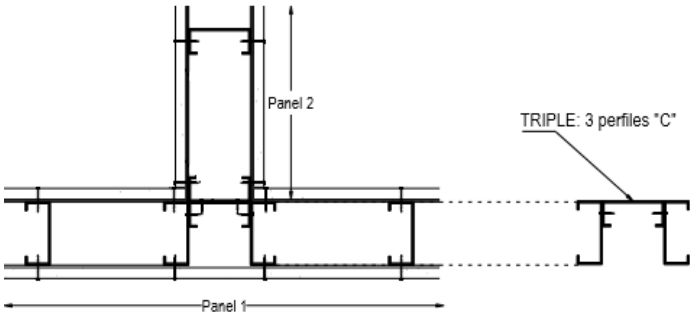


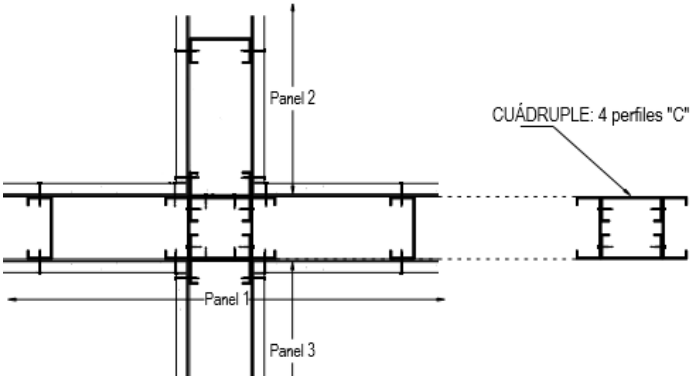
Fonte: Portal Metalica (2017)

#### 5.5.1.4. Padronização de encontros

O encontro entre os painéis resulta na união de perfis simples e peças pré-montadas que são necessárias para solucionar a união entre os montantes. Essas montagens “especiais” são formadas a partir de perfis unidos por parafusos, o que gera uma rigidez maior nas extremidades dos painéis. A tabela 4 demonstra os tipos de encontros mais comuns na execução de um projeto em *Light Steel Framing*.

Tabela 5 - Tipos de encontros mais comuns

Encontro	Descrição	Representação
Duplo	Composto por dois montantes em perfis Ue unidos pela alma. O uso mais comum é no encontro de quina entre os painéis	
Triplo	Composto por três montantes em perfis Ue, no qual o do centro é rotacionado a 90° em relação aos outros dois, possibilitando assim, a fixação em forma de “T”	

Quádruplo	Composto por quatro montantes em perfis Ue, no qual os dois centrais estão rotacionados 90° em relação aos outros, gerando superfície de fixação	
-----------	--	--

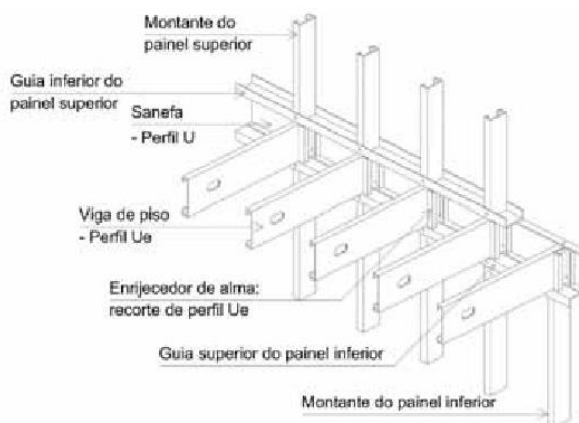
Fonte: Adaptado de Consulsteel (2002)

## 5.6. Lajes

### 5.6.1. Vigamento de Piso

Assim como maior parte dos elementos que constituem o Light Steel *Frame*, a estrutura de piso (figura 13) possui o mesmo fundamento dos perfis utilizados nos painéis; perfis de aço galvanizado separados por uma modulação determinada pela carga atuante em cada perfil. A distância dessa modulação em geral é mantida no decorrer de toda estrutura.

Figura 11: Estrutura de piso



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 52



As vigas de entrepiso que formam a laje são compostas por perfis U enrijecidos dispostos na horizontal e apoiadas nos montantes, suas almas devem coincidir à fim manter o conceito de estrutura alinhada (Figura 14). Segundo Freitas e Crasto (2006), os perfis devem ser resistentes e enrijecidos o suficiente para suportar as cargas e evitar deformações maiores do que exigidos por norma. Por conta disso, não é recomendável se cortar ou perfurar além do corte de fábrica (conhecidos por “*punch*”) a mesa de um perfil que atua como viga.

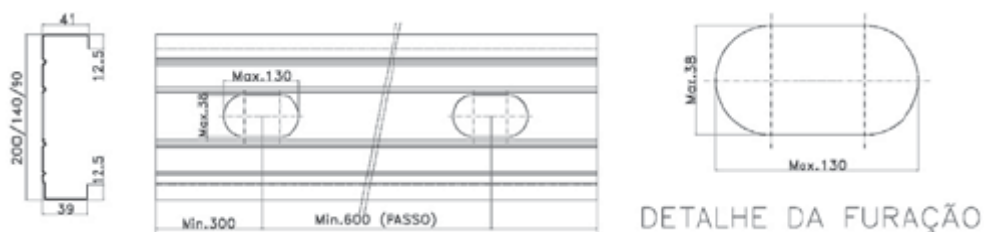
A NBR 15253:2005 define que: “Aberturas sem reforços devem ter bordas arredondadas e dimensões máximas de 115mm de comprimento e 38mm de largura. O maior eixo da abertura deve coincidir com o eixo longitudinal central da alma do perfil.” A distância entre centros de furos sucessivos deve ser no mínimo igual a 600mm; a distância entre a extremidade do perfil e o centro do primeiro furo deve ser no mínimo de 300mm; a distância entre a extremidade de uma abertura e a face lateral do apoio da viga deve ser de no mínimo 250mm”.

Figura 12: Vigas de piso



Fonte: Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 52

Figura 13: Abertura nos perfis para passagem de tubulação



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 52

Para aberturas com dimensões maiores que as definidas por norma, é necessário a execução de reforços à fim de fortalecer a região da furação. Tal reforço deve ser realizado por meio de uma chapa de aço galvanizado de espessura mínima igual ao do perfil perfurado e deve ser estendido 25mm além das bordas do furo.

As vigas de entrepiso são responsáveis pelas transmissões de carga à que são solicitadas (peso próprio da laje, sobrecargas de pessoas, móveis etc.) aos montantes. Segundo o Manual de Construção em Aço- Steel Framing: Arquitetura, além das vigas, outros elementos constituem uma laje no sistema *Light Steel Framing*, são eles:

Tabela 6 - Elementos que constituem a laje

Elemento	Descrição
Sanefa ou Guia	Perfil U que fixa as extremidades das vigas
Enrijecedor de alma ou enrijecedor de apoio	Recorte de perfil enrijecido, que fixado através de sua alma à alma da viga no apoio da mesma, aumenta a resistência no local evitando o esmagamento da alma da viga.
Viga caixa de borda	União dos perfis U e Ue possibilitando a borda da laje paralela às vigas , principalmente quando ocorre de server de apoio ao painel.
Viga composta	Perfis U e Ue combinados à fim de aumentar a resistência da viga. Pode ser utilizada no perímetro de uma abertura na laje,

	como por exemplo, para permitir o acesso através de uma escada, servindo de apoio para as vigas interrompidas.
--	--

Fonte: Adaptado Manual de Arquitetura – CBCA (2006)

## 5.7. Coberturas

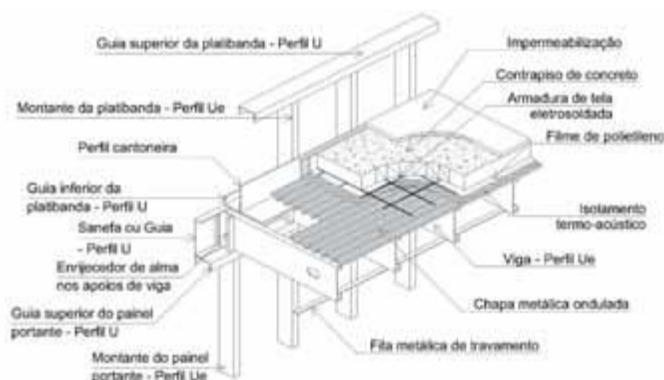
De acordo com Cardão (1964), a cobertura, popularmente conhecida como telhado é definida como parte da construção designada a cobrir a ação das intempéries, desempenhando função de proteção e até mesmo regulador térmico dos ambientes cobertos, uma vez que a passada de ar entre o forro e a cobertura desempenha isolamento térmico. Os telhados podem ser empregados em formato simples, de forma plana ou inclinada. No Brasil é comum que se veja telhados no formato inclinado, pois este formato proporciona um conforto ambiental mais efetivo.

O modelo *Light Steel Framing (LSF)*, não se difere totalmente das construções tradicionais, pois o mesmo possibilita igualmente uma variabilidade de projetos de coberturas. O telhado baseado na estrutura *LSF* contém a mesma base estrutural dos telhados clássicos de madeira. Partindo do pressuposto de Moliterno (2003), a cobertura é composta por materiais impermeáveis às águas pluviais e rígidos a força do vento e ações externas que venham a ocorrer. Segundo o documento Laboube 1995, o telhado deve sustentar a própria estrutura, os revestimentos de cobertura, forros suspensos, materiais de isolamento, cargas de vento, neve, entre outros componentes

### 5.7.1. Tipos de Coberturas

Nas construções em *Light Steel Framing* são utilizados dois tipos coberturas principais: Planas e Inclinadas. As coberturas planas (Figura 16) são menos convencionais, apresentam uma laje úmida na qual a inclinação obtida pela variação da espessura do contrapiso de concreto, determinam o caimento da água.

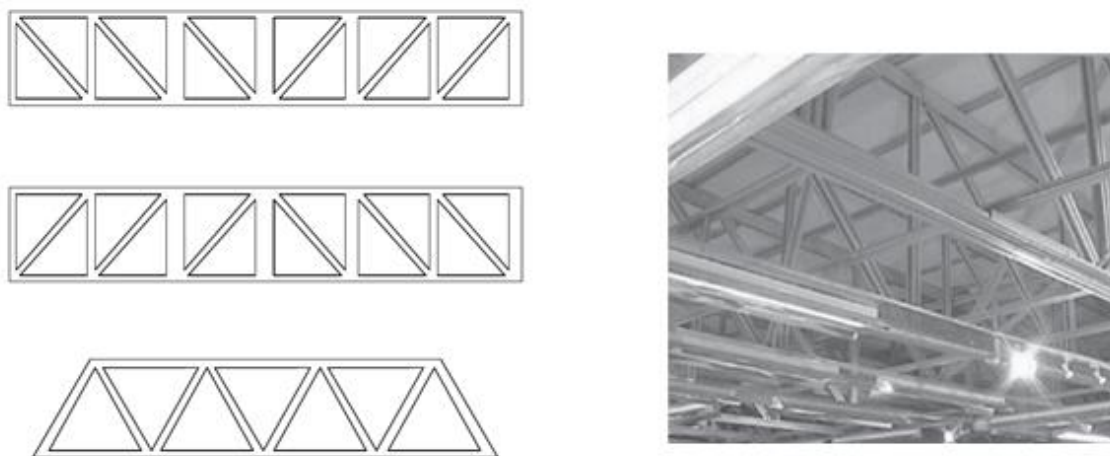
Figura 14: Cobertura Plana



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 64

Para maiores vãos sem apoios intermediários pode-se utilizar treliças planas compostas de perfis ue, as mesmas empregadas em estruturas de piso onde há a incidência de maiores cargas e espaçamentos.

Figura 15: Treliças Planas

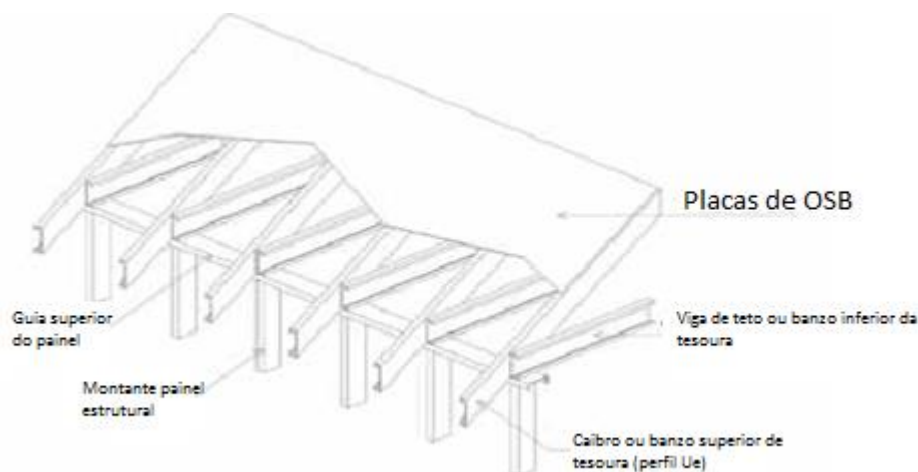


Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 65

As estruturas de uma cobertura inclinada em *LSF* são semelhantes ao de uma estrutura convencional, diferenciando-se essencialmente no material da armação, onde a madeira é substituída por perfis galvanizados. Sendo assim, da mesma maneira dos demais elementos que compõem o sistema, busca-se manter o

alinhamento da estrutura. No caso das coberturas inclinadas, a alma dos perfis que formam as tesouras ou caibros devem estar alinhada a alma dos montantes dos painéis de apoio, de maneira que suas seções estejam em coincidência fazendo com que as transmissões de cargas sejam axiais. (Figura 1.3)

Figura 16: Alinhamento caibros e vigas

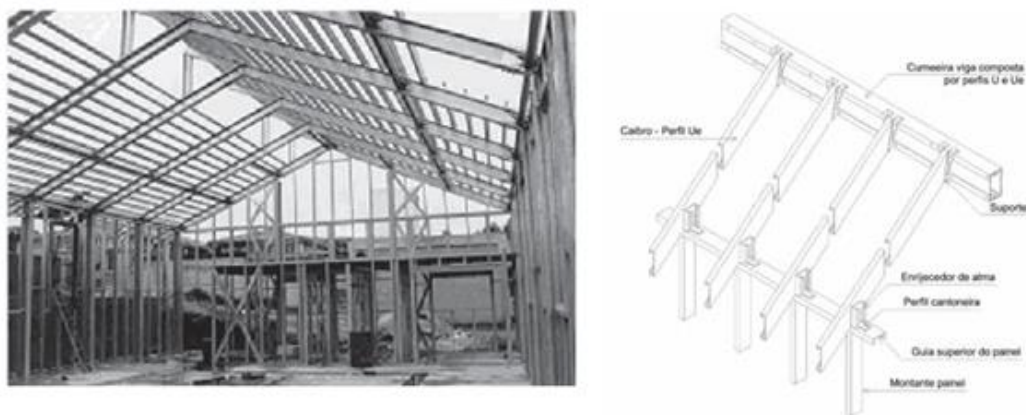


Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 65

#### 5.7.1.1. Coberturas Estruturadas com Caibros e Vigas

O telhado que contém estrutura de caibros é empregado para construções do tipo “*stick*”, no qual os elementos estruturais (U e Ue) são cortados e montados na obra. Pode ser aplicado em construções de maiores complexidades contendo maiores vãos, desde que adequadamente dimensionados, empregando perfis duplos. Uma estrutura de caibros consiste na utilização de dois caibros cujas extremidades são apoiadas nos painéis autoportantes formando a inclinação solicitada, se encontrando com a cumeeira no topo da edificação. (Figura 19)

Figura 17: Telhado estruturado com caibros



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 66

A cumeeira pode ser entendida como uma estrutura contínua que desempenha a função de apoio aos caibros, podendo ser formada por painéis estruturais ou por perfis U e Ue, de acordo com as solicitações do cálculo estrutural. (Figura 20)

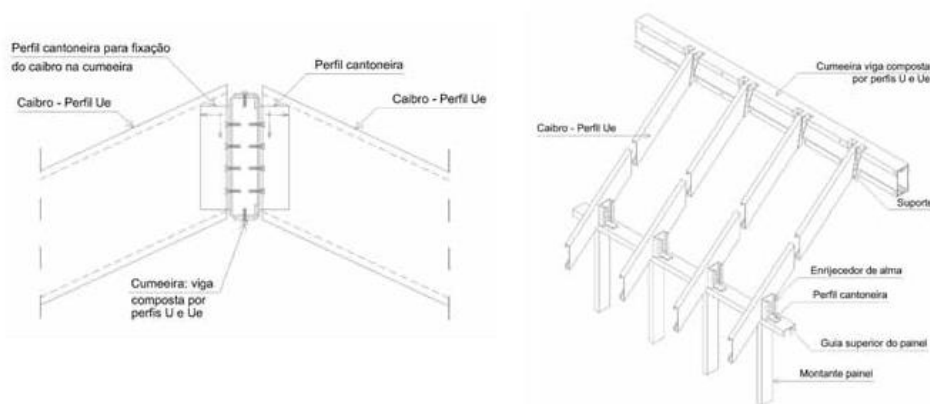
Figura 18: Cumeeira composta por perfis U e Ue



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 66

As ligações dos caibros com a cumeeira podem ser feitas por meio de cantoneiras, com espessura igual ou maior que a dos caibros (Figura 19), ou seguindo os princípios da Consul Steel (2000), ser apresentado por meio de peças de suporte.

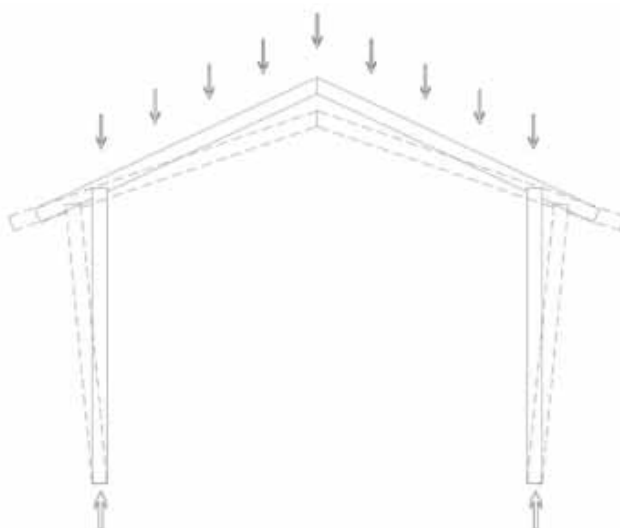
Figura 19: Cumeeira de telhado estruturado com caibros



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 66

Em muitos casos, para evitar que os painéis cedam por conta do peso do telhado, é necessário a utilização de vigas de teto que atravessam o vão. As vigas funcionam neste caso como um travamento dos painéis, impedindo que os painéis se abram, devido às cargas geradas pela cobertura. A fixação dos caibros e vigas nos painéis é obtida pelos enrijecedores de alma unidas às cantoneiras aparafusadas às guias superiores dos painéis.

Figura 20: Efeito Abertura

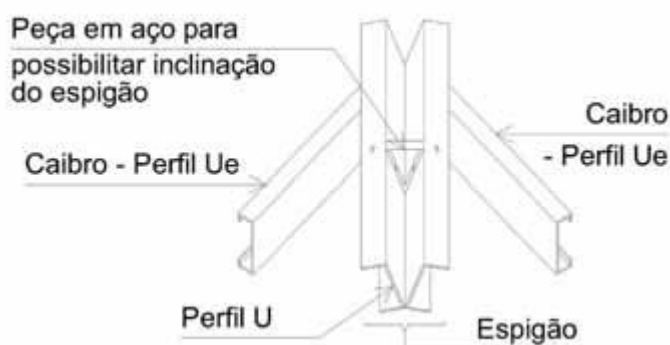


Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 66

Waite (2000) descreve dois métodos de montagem dos espigões e rincões:

- De acordo com o projeto estrutural, se dividem em: Viga caixa (Ajustando o perfil Ue em perfil U) ou Composta (Unindo perfis U e Ue), onde os caibros complementares que darão formato ao telhado são cortados no ângulo adequado e ligados aos espigões ou rincões através das cantoneiras.
- Dois perfis U fixados por suas almas a uma peça que permita o ângulo apropriado (Figura 23), oferecendo guia para os caibros complementares, que não precisam de cortes em ângulos, já que estes são aparafusados nas guias.

Figura 21: Espigão formado a partir de dois perfis U








Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 67

#### 5.7.1.2. Coberturas Estruturadas com Tesouras ou Trelças

Scharff (1996) compreende que as tesouras de madeira no Brasil vêm sendo substituídas gradativamente pelas tesouras de aço, especialmente em estruturas de retrofit devido a capacidade portante do aço, leveza das peças e resistência a insetos e incombustível. As tesouras possuem uma grande variabilidade em seus formatos devido a fatores estéticos, funções, culturas, entre outros. As tipologias mais utilizadas são:



Tabela 7 - Tipologias mais utilizadas de tesouras

Tipo	Figura
Tesoura Pratt	
Tesoura Fink	
Tesoura Alemã	
Tesoura Belga	
Tesoura Howe	

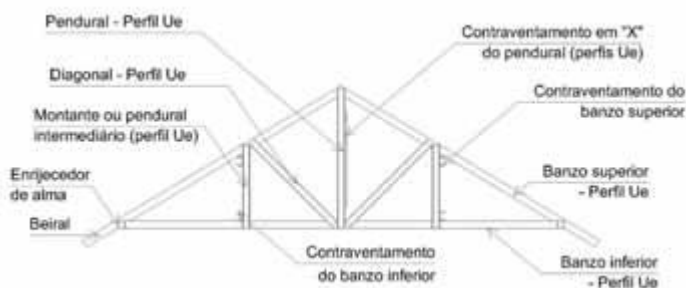
Fonte: Adaptado de Manual de Arquitetura – CBCA (2006)

As tesouras são compostas por elementos estruturais, normalmente em perfis Ue, onde se tornam estáveis ao se conectarem, sendo os elementos básicos os seguintes:

- Banzo Superior: Perfil Ue que dá forma e inclinação à cobertura do telhado;
- Banzo Inferior: Perfil Ue que dá forma e inclinação ao forro do espaço coberto;

- Montantes ou Pendurais: Perfis Ue inclinados que vinculam o banzo superior e inferior;
- Diagonais: Perfis Ue inclinados que vinculam o banzo superior e inferior;
- Enrijecedores de apoio: Recorte de perfil Ue colocado nos pontos de apoio da tesoura, para a transmissão dos esforços, evitando a flambagem local dos perfis de banzos.
- Contraventamentos: Perfis U, Ue ou fitas de aço galvanizado que vinculam as tesouras e proporcionam estabilidade ao sistema de cobertura.

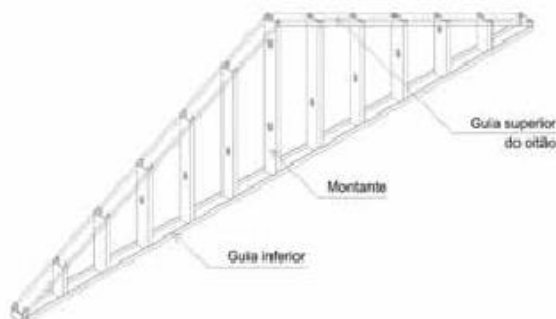
Figura 22: Elementos de uma tesoura



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 70

Para telhados em duas águas, o painel de fechamento do oitão é formado conforme a presença e resistência do beiral. Em caso de ausência dos beirais perpendiculares ao plano das tesouras, o oitão será um painel com mesma inclinação e altura das tesouras. (Figura 25)

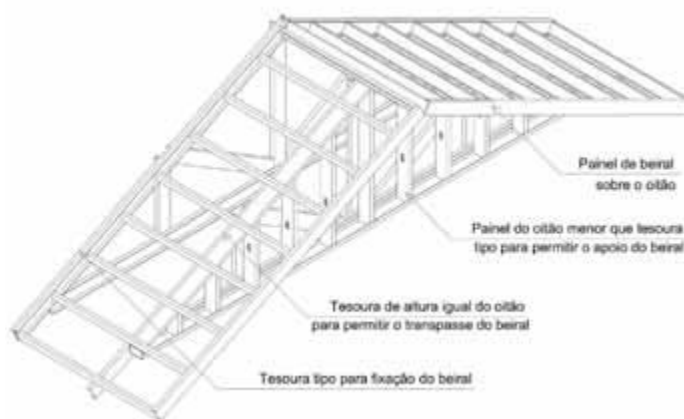
Figura 23: Painel de fechamento do oitão



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 71

O painel do beiral pode apoiar-se sobre o oitão, fixando na primeira tesoura, (situação mais aconselhável) ou então o painel do beiral pode ser fixado no painel do oitão ficando em balanço. No primeiro caso, a altura do oitão deve ser inferior que a altura da tesoura para proporcionar o transpasse e o apoio de beiral que se fixará na primeira tesoura do telhado, conforme ilustrado na figura 26.

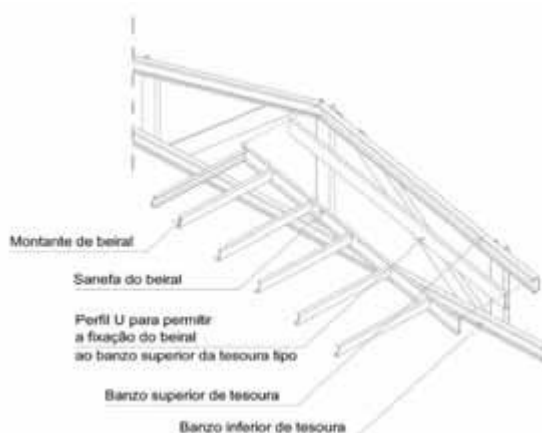
Figura 24: Painel de beiral



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 72

Para integrar o beiral à tesoura, os banzos superiores deverão ser reforçados com um perfil U, gerando uma seção caixa, na qual possa ser fixado o painel de beiral, como segue na figura 27.

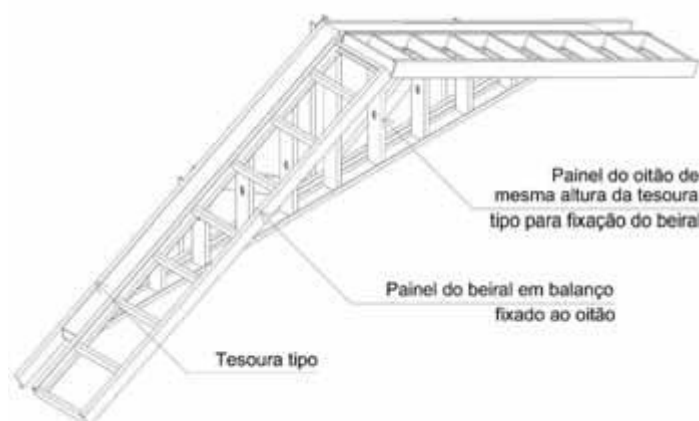
Figura 25: Detalhe de fixação de painel de beiral



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 72

Em alguns casos, a tesoura pode ser colocada juntamente com o painel de oitão, desde que sejam da mesma altura e permitam uma superfície para aparafusar as placas de forro e a fixação dos contraventamentos até o extremo da estrutura. É importante salientar que a alma dos perfis do beiral deve condizer com a alma dos montantes que servem de apoio, a modulação do painel de beiral dependerá do ângulo de inclinação do telhado. O Painel de beiral em balanço só é adotado quando houver uma projeção pequena do beiral e se utilizar o diafragma rígido na cobertura do telhado. O painel é fixado ao oitão que tem a mesma altura das tesouras.

Figura 26: Painel de beiral em balanço



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 72



## 5.8. Ligações



A norma de dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio (NBR 14762/2010) recomenda o uso de parafusos de aço com qualificação estrutural comuns ou de alta resistência. Os parafusos sem qualificação estrutural são admitidos desde que não seja adotado no projeto um valor superior a 300 Mpa para a resistência à ruptura do parafuso na tração. Segundo Elhajj (2004) a escolha de um tipo específico de ligação depende das condições de carregamento, o tipo e a espessura dos materiais conectados, a resistência necessária da conexão e a normatização.

Feitos em aço carbono com tratamento cementado e temperado, e recobertos com uma proteção zinco-eletrolítica para evitar a corrosão e manter características similares à estrutura (Freitas e Crasto, 2006), os parafusos são fabricados de acordo com a necessidade da instalação, podendo ter diversos tipos de cabeças e pontas. Seu comprimento varia de ½ polegada a 3 polegadas, dependendo aplicação, de maneira que a fixação entre dois componentes de aço ultrapasse no mínimo três passos de rosca no último elemento. Ao unir perfis estruturais de aço e placas de fechamento, o parafuso deve fixar todas as camadas e ultrapassar o perfil no mínimo 10 cm afora. A cabeça do parafuso define o tipo de material a ser fixado (Freitas e Crasto, 2006).

Os parafusos auto-atarrachantes e auto-brocantes são os tipos de conexão mais utilizados em construções compostas de estruturas em aço leve. Os mais comumente empregados para fins estruturais, segundo Rodrigues (2006), são os auto-brocantes que possui as pontas tipo S12 ou TRAXX e cabeça do tipo sextavada Hex Washer Head (HWH). A tabela 7 corresponde ao tipo das cabeças dos parafusos popularmente conhecidas, pontas e suas respectivas aplicações no sistema *LSF*.

Tabela 8 - Tipos de parafuso

Cabeça	Ponta	Descrição	Aplicação	Ilustração
Lentilha	Broca	Ligações metal/metal, onde haverá presença de placas de fechamento	Guias e Montantes	
			Contraventamentos e Guias	
			Contraventamentos e Montantes	
Sextavada	Broca	Ligações metal/metal, onde não há presença de placas de fechamento	Entre painéis	
			Perfis em tesouras	
			Enrijecedores de alma vigas de piso	

			Peças de apoio das tesouras	
Trombeta	Broca	Fixação entre placas fechamento. Permite total penetração no substrato.	Placas de gesso e OSB	
	Broca com asas	Fixação entre placas de acabamento. Proporciona um furo de maior diâmetro, não permitindo que fibras obstruam a perfuração	Placas cimentícias	

Fonte: Adaptado de Manual de Arquitetura – CBCA (2006)

A parafusadeira é a ferramenta mais utilizada nas construções em *Light Steel Framing* por conta da quantidade de parafusos que são fixados ao longo de toda estrutura. O tipo da cabeça ou fendas do parafuso determinam o tipo de boquilha que é utilizada na parafusadeira.

## 5.9. Fundações

É importante destacar que o bom projeto e execução da fundação implica em uma maior eficiência estrutural (ConsulSteel, 2002). A estrutura composta de perfis formados a frio e os componentes de fechamento, pelo fato de serem extremamente leves somado ao fato de não haver concentração de cargas, não exigem tanto da fundação como outros sistemas construtivos. Apesar disso, a fundação deve ser contínua e suportar o sistema em toda sua extensão, uma vez que a estrutura distribui as cargas uniformemente ao longo dos painéis estruturais.

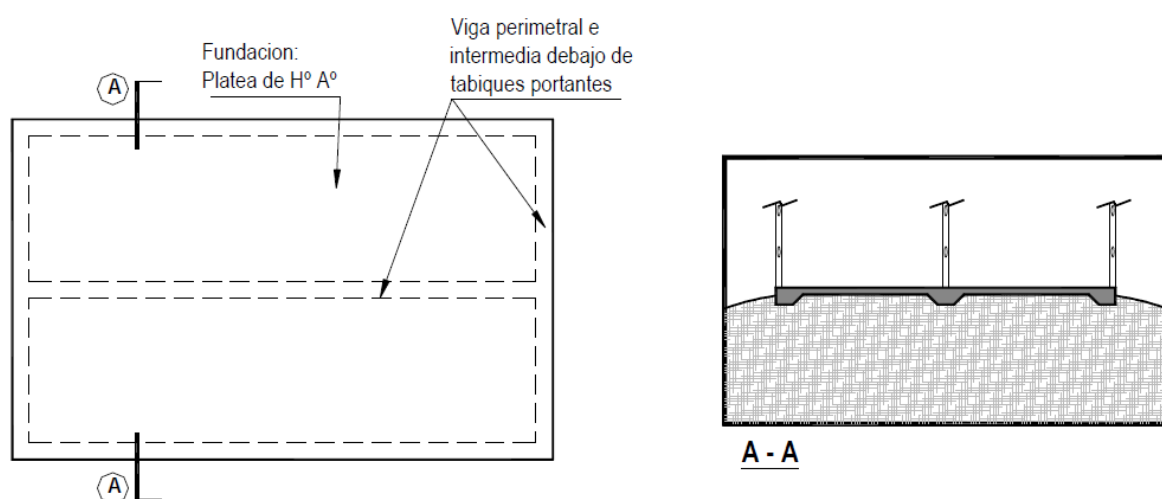
O *Light Steel Framing* admite ser executado sob vários tipos de fundações, desde que cumpram com os requisitos necessários. O tipo de fundação deve ser escolhido considerando as solicitações estruturais além das condições topográficas,

tipo de solo e nível dos lençóis freáticos. Dada as características do sistema, as fundações mais utilizadas são as fundações rasas, radier e sapata corrida.

### 5.9.1. Radier

O tipo de fundação mais comumente utilizado no sistema *Light Steel Framing*. Segundo a ABNT NBR 6122:2010 o radier é um elemento de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos da fundação para o terreno. Os componentes estruturais fundamentais do radier são a laje contínua de concreto, e as vigas no perímetro da laje e sob as paredes ou colunas estruturais.

Figura 27: Fundação tipo radier



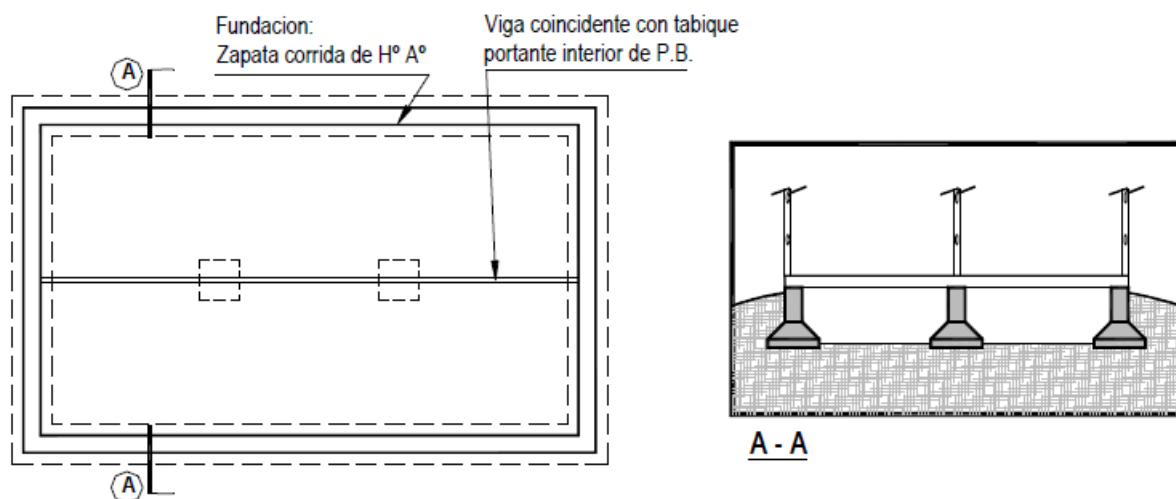
Fonte: ConsulSteel. Manual de Procedimiento. P. 48

### 5.9.2. Sapata Corrida

A ABNT NBR 6122:2010 define que sapata corrida é uma sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares ao longo de um mesmo alinhamento. Os componentes estruturais básicos desse tipo de fundação são as paredes de base e a base. As paredes de base devem ser constituídas de blocos de concreto pré-moldado ou de alvenaria, que ficam sob os painéis estruturais. As

sapatas corridas devem ser dimensionadas para resistir as cargas laterais (provenientes do terreno) e as cargas verticais (advindas da estrutura).

Figura 28: Fundação do tipo sapata corrida



Fonte: ConsulSteel. Manual de Procedimiento. P. 53

Independente do tipo de fundação escolhida, é necessário verificar os deslocamentos gerados pela ação do vento. Para evitar os efeitos da translação e tombamento, é necessário que a superestrutura esteja devidamente ancorada a fundação.

## 5.10. Ancoragem

A escolha da ancoragem mais adequada dependerá do tipo de fundação adotada e das solicitações que ocorrem na estrutura devido aos fatores ambientais (ventos, abalos sísmicos). Segundo Freitas e Crasto (2006), o tipo de ancoragem, suas dimensões e espaçamento são definidos segundo o cálculo estrutural. Os mais utilizados são: Química com barra rosca e expansível com parabolts (mecânica).

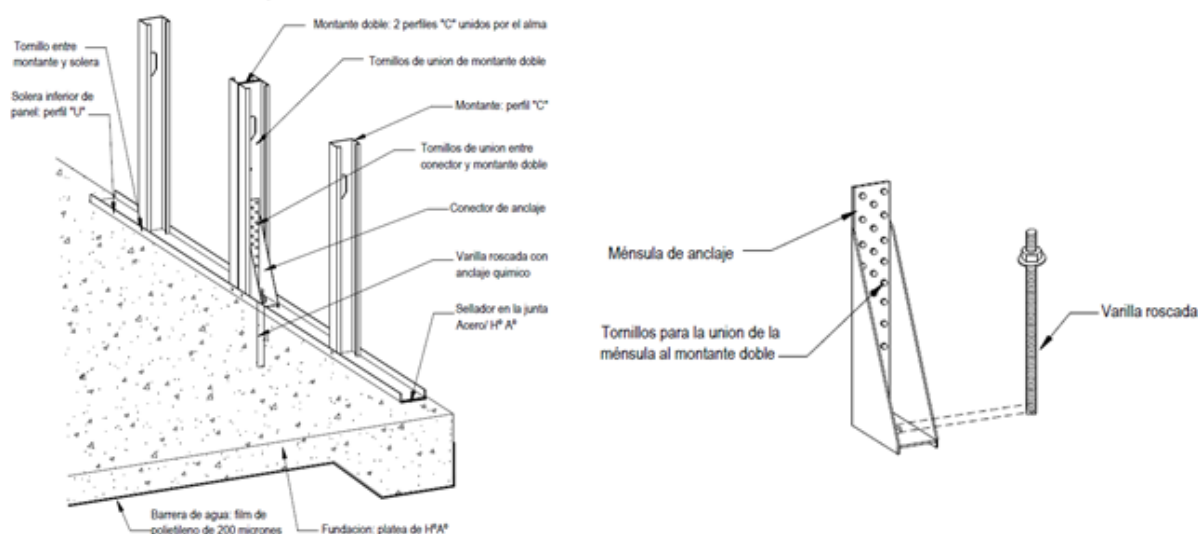
### 5.10.1. Ancoragem Química com barra rosca

A ancoragem química com barra rosca é realizada após a execução da fundação. Consiste em uma barra rosca com porca e arruela, fixada à fundação



através de um furo preenchido com uma resina química (epóxi), formando rapidamente uma interface resistente com o concreto. Segundo Freitas e Crasto (2006), a fixação à estrutura se dá por meio de uma peça em aço que é conectada à barra rosca e a guia aparafusada ao montante geralmente duplo, conforme figura 31.

Figura 29: Ancoragem química com barra rosca

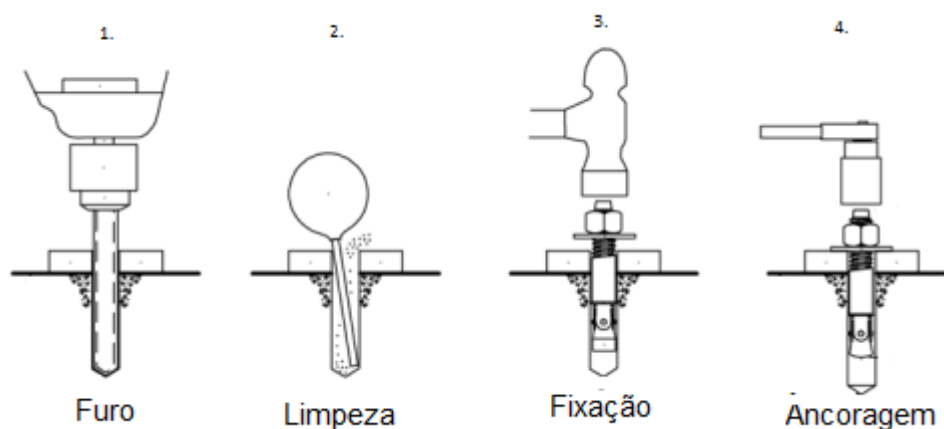


Fonte: ConsulSteel. Manual de Procedimiento.

### 5.10.2. Ancoragem mecânica

A Ancoragem mecânica pode ser realizada por meio do uso de chumbadores mecânicos ou parabolt. É composta por um parafuso expensor, presilhas, porcas e arruelas. Após o posicionamento do parabolt no furo realizado nas guias e na fundação, à medida em que se apertam as porcas, as presilhas se expandem e fixam o painel à fundação.

Figura 30: Instrução de montagem dos chumbadores



Fonte: Adaptado de Rokin Automotive (Disponível em: <<http://rokin.com.br/produto/parabolt-chumbador-para-elevador-eleto-hidraulico/>>)

### 5.11. Métodos de Montagem

No sistema *Light Steel Framing* há dois principais métodos de construção e montagem para as estruturas compostas de perfis formados a frio. Os métodos variam de acordo com a necessidade do projeto, o espaço disponível no canteiro de obras e a maneira como o material a ser utilizado será transportado.

#### 5.11.1. Método *Stick*

O método “*Stick*” consiste no corte dos perfis no canteiro de obras e a montagem dos elementos que compõem o sistema (painéis, lajes, colunas, contraventamentos, etc.) no local. Por meio deste método, não há a necessidade de haver um local para pré-fabricação do sistema e o transporte das peças seria facilitado. A grande desvantagem da utilização do método “*stick*” são as ligações, que apesar da facilidade da execução, o volume de atividades na obra aumentaria.

Figura 31: Representação Método *Stick*



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 25

#### **5.11.2. Método por painéis**

O método por painéis consiste na pré-fabricação de painéis (estruturais ou não), lajes, tesouras e demais elementos que constituem o sistema *Light Steel Framing*, podendo ser ou não aplicado materiais de fechamento para reduzir o tempo de montagem. Desta forma, é possível se obter um maior controle de qualidade na produção dos sistemas devido às melhores condições de montagem na fábrica. O método por painéis propicia uma maior velocidade de montagem in loco e reduz o trabalho no canteiro de obras.

Figura 32: Transporte painéis pré-fabricados



Fonte: Freitas; Crasto, 2006, p. 25

## **5.12. Análise Estrutural**

O objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos de ações (sejam elas permanentes ou acidentais) sobre os componentes de uma estrutura, visando efetuar verificações de estados-limites últimos e de serviço. Segundo a ABNT NBR 14762:2010, a análise deve ser feita com base em um modelo realista, que permita representar a resposta da estrutura e dos materiais estruturais, levando-se em conta as deformações causadas por todos os esforços solicitantes relevantes.

### **5.12.1. Estados-Limites**

A ABNT NBR 8681/2003 define que os estados limites de uma estrutura são os estados em que a estrutura de uma edificação apresenta um desempenho inadequados às finalidades da construção. São divididos em duas categorias, estados limites últimos e estados limites de serviço.

#### **5.12.1.1. Estados limites últimos**

Os estados limites últimos (ELU) estão relacionados ao limite de colapso da estrutura, sujeitas às combinações mais desfavoráveis de ações previstas, que pela sua ocorrência, determine a paralização em parte ou no todo do uso da edificação. Segundo a ABNT NBR 8681/2003, devem ser considerados os ELU caracterizados por

- Ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- Instabilidade dinâmica;
- Perda de equilíbrio global ou parcial
- Transformação da estrutura, em parte ou no todo, em hipostático

#### **5.12.1.2. Estados limites de serviço**

Os estados limites de serviço de maneira geral, estão relacionados ao desempenho da estrutura em condições de uso normais de utilização.

### **5.13. Ações**

Segundo a ABNT NBR 14762/2010, a análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos que possam interferir na estabilidade da estrutura, levando-se em conta os estados-limites últimos e de serviço. As ações são classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais. Para a realização do projeto estrutural, foram consideradas as ações conforme os itens 5.13.1., 5.13.2., 5.13.3.

#### **5.13.1. Ações permanentes**

Ocorrem com valores constantes em toda a vida útil da edificação. Também são consideradas permanentes os carregamentos que aumentam com o decorrer do tempo, tendendo a um valor-limite constante. “As ações permanentes são subdivididas em diretas ou indiretas e devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança.” (ABNT NBR 14762/2010).

#### **5.13.2. Ações permanentes diretas**

Constituídas pelo peso próprio da estrutura e pelo peso próprio dos elementos construtivos fixos e instalações permanentes. O peso específico do aço pode ser obtido por meio da norma ABNT NBR 6120, na ausência de informações mais precisas. Os pesos dos elementos que constituem as instalações são fornecido pelos respectivos fornecedores.

#### **5.13.3. Ações variáveis**

Segundo a ABNT NBR 14762/2010, ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção. Carvalho, Grigoletti e Barbosa (2014) demonstram que as ações variáveis podem ser fixas ou móveis. Os pontos de aplicação das ações variáveis fixas não variam, enquanto os pontos de aplicação das ações variáveis móveis varia ao longo do tempo. A tabela 8 demonstra alguns exemplos de ações variáveis fixas e móveis.

Tabela 9 - Ações variáveis

Ações variáveis	
Fixas	Móveis
Sobrecarga devidas à utilização da edificação, (pessoas, móveis, etc.);	Ação de veículos sobre pontes e viadutos
Empuxo de terra e pressões hidrostáticas;	Ação de uma ponte rolante sobre uma viga de rolamento.
Variações de temperatura;	
Recalques e deformações impostas;	
Vento e Neve	

Fonte: Carvalho, 2014.

#### 5.13.3.1. Ação do vento

Para o dimensionamento da estrutura em *LSF*, para ações variáveis, foram analisados os esforços causados pela ação do vento. Segundo Carvalho, Grigoletti e barbosa (2014), de uma maneira geral, considera-se como ações do vento (onde  $\alpha$  é o ângulo de incidência do vento):

- Vento Transversal ( $\alpha=90^\circ$ )
- Vento Longitudinal ( $\alpha=0^\circ$ )
- Vento Oblíquo
- Pressão interna

#### 5.14. Combinação de ações

Segundo a ABNT NBR 14762/2010, um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezáveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período pré-estabelecido. As combinações de ações devem realizadas de maneira que possa ser determinada os efeitos mais desfavoráveis para estrutura.

### 5.14.1. Combinações últimas

Nas combinações últimas de construção são verificados os estados limites últimos da estrutura. Segundo a ABNT NBR 14762/2010, as combinações podem ser classificadas em normal, especial, de construção e excepcional.

- Combinação últimas normais:

As combinações últimas normais decorrem do uso previsto para a edificação. Utiliza-se a seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k})$$

- Combinação últimas especiais e de construção:

As combinações últimas especiais decorrem da atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especial, cujos efeitos superam em intensidade os efeitos produzidos pelas ações consideradas nas combinações normais. Utiliza-se a seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k})$$

- Combinações últimas especiais:

As combinações últimas excepcionais decorrem da atuação de ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos. As ações excepcionais somente devem ser consideradas no projeto de estrutura de determinados tipos de construção, nos quais essas ações não possam ser desprezadas e que, além disso, na concepção estrutural, não possam ser tomadas medidas que anulem ou atenuem a gravidade das conseqüências dos seus efeitos. O carregamento excepcional é transitório, com duração extremamente curta. Aplicam-se a seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k})$$

$F_{Gi,k}$  representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  é o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$  representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

$\Psi_{0j,ef}$  representa os fatores de combinação efetivos de cada uma das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável especial  $F_{Q1}$ .  
(Tabela 2 ABNT NBR 8800/2008)

## 6. Estudo de caso

Considerando o embasamento teórico apresentado na revisão bibliográfica, foi realizado um projeto estrutural baseado em uma planta de arquitetura do programa de habitação social MCMV, através de um software desenvolvido no Brasil - McalcLSF, para modelagem e dimensionamento de estruturas em *Light Steel Framing*.

### 6.1. Projeto

Para a realização do projeto em *Light Steel Framing*, foram analisadas plantas baixas que se enquadravam nas especificações mínimas de unidade habitacional. A Portaria nº 269, de 22 de março de 2017 do Ministério das Cidades dispõe os parâmetros mínimos arquitetônicos e urbanísticos de uma unidade habitacional no âmbito do Minha Casa Minha Vida (MCMV). Na tabela 9, é possível verificar alguns dos requisitos exigidos.

Tabela 10 - Especificações mínimas das unidades habitacionais

Especificações Mínimas das Unidades Habitacionais	
Edificações	
Projeto	Unidade habitacional com sala / 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas / cozinha / área de serviço / banheiro.



<p><b>DIMENSÕES DOS CÔMODOS:</b> (Estas especificações não estabelecem área mínima de cômodos, deixando aos projetistas a competência de formatar os ambientes da habitação segundo o mobiliário previsto, evitando conflitos com legislações estaduais ou municipais que versam sobre dimensões mínimas dos ambientes, sendo porém obrigatório o atendimento à NBR 15.575, no que couber)</p>	
Dormitório casal	Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m
Dormitório duas pessoas	Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,80 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50 m). Circulação mínima entre as camas de 0,80 m. Demais circulações mínimo de 0,50 m.
Cozinha	Largura mínima da cozinha: 1,80 m. Quantidade mínima: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); e geladeira (0,70 m x 0,70 m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.
Sala de estar/refeições	Largura mínima sala de estar/refeições: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e Estante/Armário TV
Banheiro	Largura mínima do banheiro: 1,50 m. Quantidade mínima: 1 lavatório sem coluna, 1 vaso sanitário com caixa de descarga acoplada, 1 box com ponto para chuveiro - (0,90 m x 0,95 m) com previsão para instalação de barras de apoio e de banco articulado, desnível máx. 15 mm; Assegurar a área para transferência ao vaso sanitário e ao box.
Área de Serviço	Quantidade mínima: 1 tanque (0,52 m x 0,53 m) e 1 máquina (0,60 m x 0,65 m). Garantia de acesso frontal para tanque e máquina de lavar
Em Todos os Cômodos	Espaço livre de obstáculos em frente às portas de no mínimo 1,20 m. Nos banheiros, deve ser possível inscrever módulo de manobra sem deslocamento que permita rotação de 360° (D= 1,50 m) . Nos demais cômodos, deve ser possível inscrever módulo de manobra sem deslocamento que permita rotação de 180° (1,20

	m x 1,50 m), livre de obstáculos, conforme definido pela NBR 9050.
Ampliação - casas	A unidade habitacional deverá ser projetada de forma a possibilitar a sua futura ampliação sem prejuízo das condições de iluminação e ventilação natural dos cômodos pré existentes.

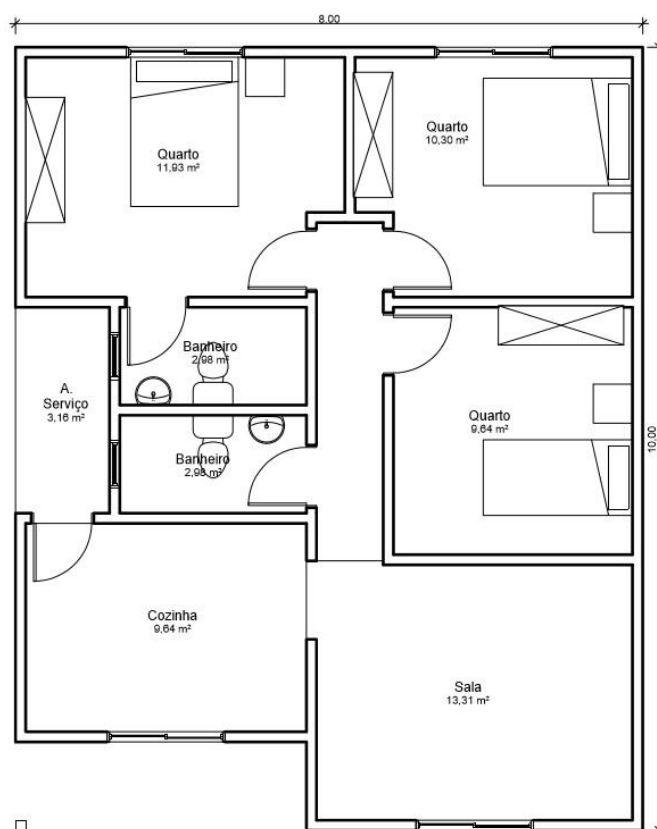
Fonte: Portaria nº 269, de 22 de março de 2017 – Ministério das Cidades

Segundo o Manual de Construção em Aço – Steel Framing: Arquitetura (2006, p. 20), os montantes devem apresentar um espaçamento máximo entre si de 400 mm ou de 600 mm. Estas dimensões são definidas através do cálculo estrutural e definem a modulação do projeto. Por se tratar de uma unidade habitacional, para dar maior rigidez à estrutura foi adotado um espaçamento de 400 mm.

O principal critério a ser analisado para a escolha da planta baixa, foi a largura e o comprimento total da edificação. Deste modo, o projeto utilizado foi aquele que mais se aproximou seus comprimentos externos dos múltiplos da medida adotada para a modulação (400 mm). De acordo com o Manual de Construção em Aço – Steel Framing: Arquitetura (2006, p. 15), a modulação otimiza custos e mão de obra na medida em que se padronizam os componentes estruturais.

A planta de arquitetura (figura 35) foi desenvolvida para o programa habitacional do município de Águas Lindas de Goiás, localizado no interior do estado de Goiás a 60 km de Brasília. Todos os ambientes estão de acordo com os requisitos mínimos exigidos para uma unidade habitacional. A figura 36 demonstra a visualização do projeto em 3D.

Figura 33: Planta de Arquitetura



Fonte: Autoria Própria

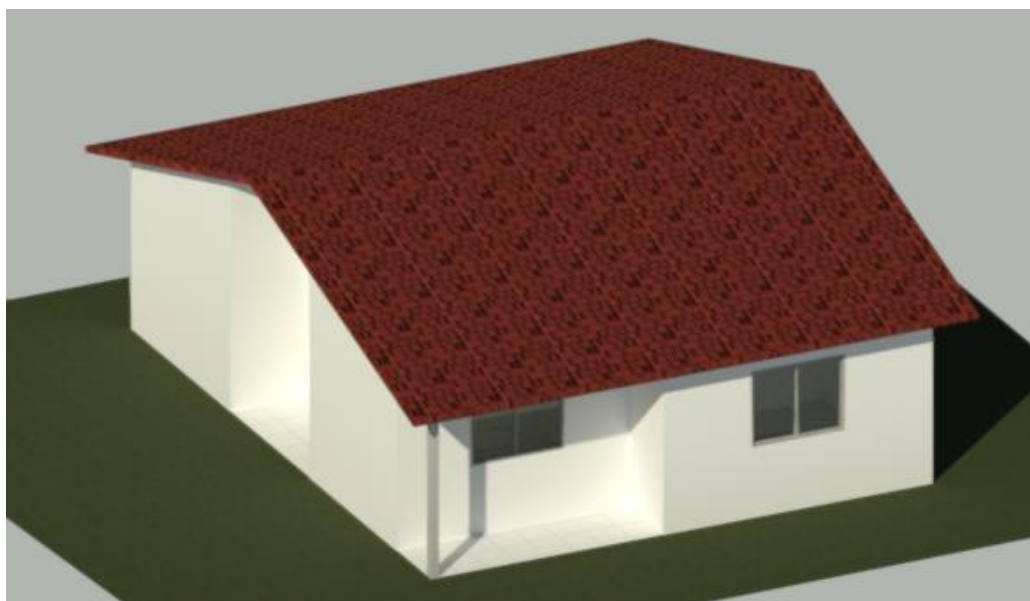
O projeto original possuía uma área construída de 69,86 m<sup>2</sup> (7,0 x 9,98 m<sup>2</sup>). Para adequar o projeto selecionado aos espaçamentos da modulação adotada, foi necessário acrescentar 1 metro em sua largura e 0,02 metros em seu comprimento. Devido à essa alteração das medidas, foi possível otimizar e padronizar o número de modulações na estrutura. Após o aumento das medidas, a área passou a ser de 80 m<sup>2</sup> (8,0 x 10,0 m<sup>2</sup>), conforme tabela 10.

Tabela 11 - Características do empreendimento

Características do Empreendimento	
Habitação de interesse social em <i>Light Steel Framing</i>	
Localização	Águas Lindas de Goiás, Goiás
Área do terreno	200,0 m <sup>2</sup>
Área construída	80,0 m <sup>2</sup>
Porcentagem área construída	40%
Fundação	Radier
Número de Pavimentos	Térrea
Dimensões dos ambientes	8,00 m de frente por 10,00 m de fundo; sala (13,31 m <sup>2</sup> ); Cozinha (9,64 m <sup>2</sup> ); Quarto 1 (11,93 m <sup>2</sup> ); Quarto 2 (10,30 m <sup>2</sup> ); Quarto 3 (9,64 m <sup>2</sup> ); Banheiros (2,98 m <sup>2</sup> )

Fonte: Autoria Própria

Figura 34: Renderização do projeto



Fonte: Autoria Própria

## 6.2. Definição das ações na estrutura

Para a realização do projeto estrutural, foram considerados as seguintes cargas permanentes:

Tabela 12 - Ações permanentes

Entrepiso		Peso Próprio Parede		Telhado	
Laje	35,0 kgf/m <sup>2</sup>	Placas Internas	8,0 kgf/m <sup>2</sup>	Telhas	7,5 kgf/m <sup>2</sup>
Piso	18,0 kgf/m <sup>2</sup>	Revest. Interno	6,5 kgf/m <sup>2</sup>	Isolamento	5,0 kgf/m <sup>2</sup>
Forro	15,0 kgf/m <sup>2</sup>	Revest. Externo	8,5 kgf/m <sup>2</sup>	Forro	15,0 kgf/m <sup>2</sup>
Extra	0,0 kgf/m <sup>2</sup>	Placa Externa	12,0 kgf/m <sup>2</sup>	Utilidades	10,0 kgf/m <sup>2</sup>
<b>Sobrecarga</b>	<b>150,0 kgf/m<sup>2</sup></b>	Extra	5,0 kgf/m <sup>2</sup>	<b>Sobrecarga</b>	<b>25,0 kgf/m<sup>2</sup></b>
<b>Total</b>	<b>68,0 kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>Total</b>	<b>40,0 kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>Total</b>	<b>37,5 kgf/m<sup>2</sup></b>

Fonte: Autoria Própria

No cálculo da ação do vento, foi considerado que a edificação está localizada em um terreno plano de um bairro da cidade de Águas Lindas de Goiás. Deste modo, de acordo com a ABNT 6123:1988 os parâmetros necessários para a determinação da ação do vento são:

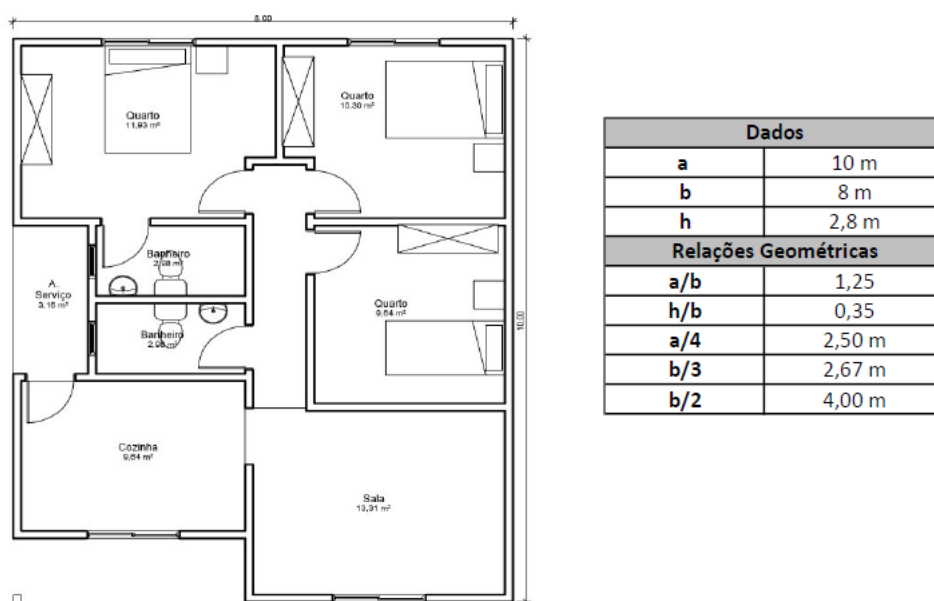
- Velocidade básica do vento:  $v_0=36$  m/s
- Fator topográfico:  $S_1=1,0$  (Terreno plano ou fracamente acidentado)
- Rugosidade de terreno: Categoria IV (Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados)
- Maior dimensão da cobertura: Classe A (menor que 20m)
- Cota média do topo dos obstáculos  $Z=10$ m
- Fator  $S_2=0,79$  (Tabela 2 NBR ABNT 6123:1988)
- Fator estatístico:  $S_3=1,0$  (Grupo 3. Tabela 3 – NBR ABNT 6123:1988)

- Velocidade característica do vento:  $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 28,44 \text{ m/s}$
- Pressão dinâmica:  $q = 0,613 \cdot V_k^2 = 49,5 \text{ kgf/m}^2$

Para se obter o coeficiente de pressão interna ( $C_{pi}$ ) foi considerado que a estrutura possui duas faces opostas igualmente permeáveis e as outras faces impermeáveis. Segundo o item 6.2.5, para ventos perpendiculares a uma face permeável usa-se  $C_{pi} = +0,2$  e para ventos perpendiculares a uma face impermeável,  $C_{pi} = -0,3$ .

Tendo em vista as dimensões da edificação, a figura 37 demonstra as relações geométricas necessárias para se obter os coeficientes de forma externo nas paredes ( $C_e$ ).

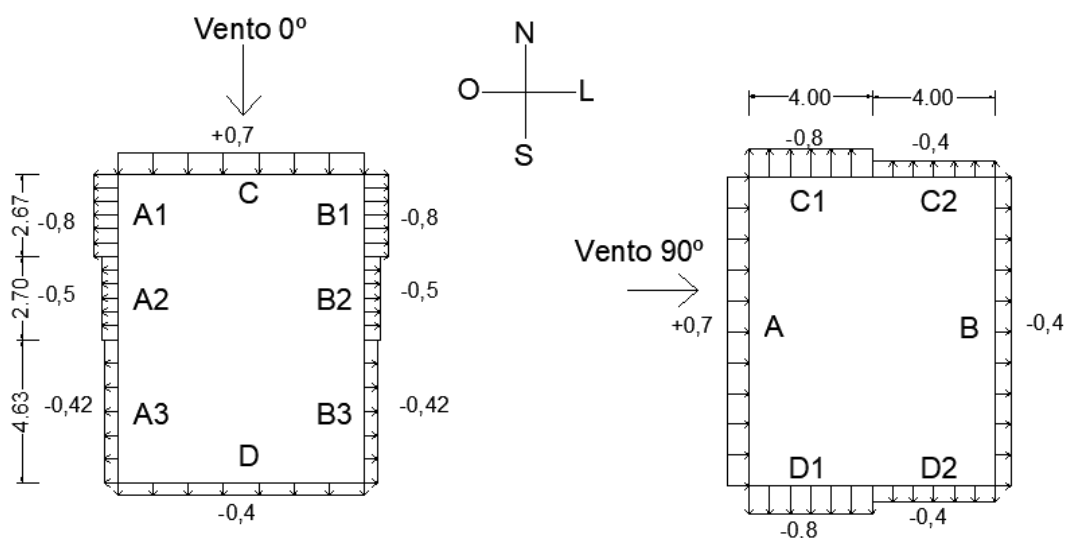
Figura 35 - Relações geométricas



Fonte: Autoria Própria

Conforme a tabela 4 da ABNT NBR 6123:1998 e as relações geométricas descritas, obteve-se os coeficientes de forma e pressão externos nas paredes com ventos a 90° e 0°, demonstrados na figura 38.

Figura 36: Coeficiente de forma e pressão externas das paredes



Fonte: Autoria Própria

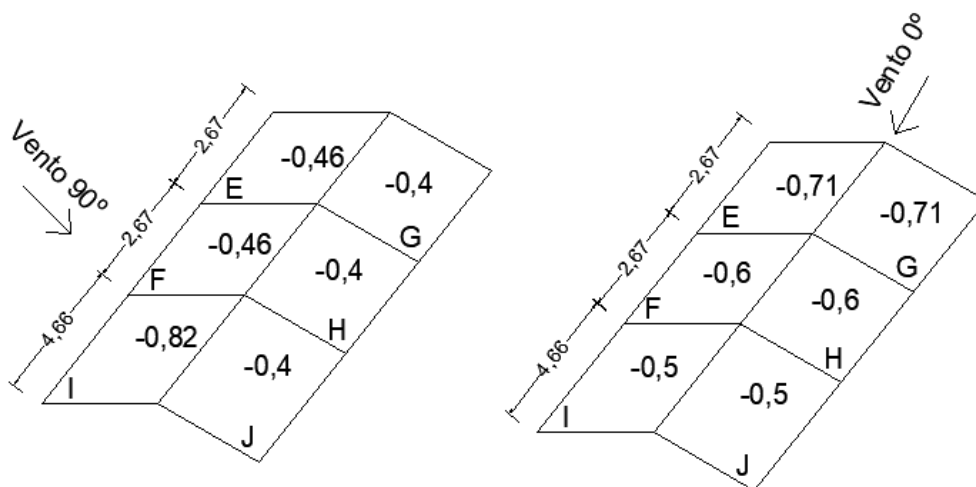
Considerando a inclinação do telhado como  $19,5^\circ$  e a cota do banzo inferior da tesoura igual a 2,8 m, não foi possível obter os valores dos coeficientes de forma na cobertura dispostas na tabela 5 da ABNT NBR 6123/1988. Por conta da tabela dispor somente de ângulos múltiplos de 5, fez-se necessário a interpolação linear dos valores de  $C_e$  entre  $\theta=15^\circ$  e  $\theta=20^\circ$  para ventos longitudinais ( $\alpha=90^\circ$ ) e transversais ( $\alpha=0^\circ$ ). A interpolação gerou valores mais precisos para a angulação de inclinação do telhado adotada, os novos valores estão representados na tabela 12 e a representação gráfica na figura 12.

Tabela 13 - Valores coeficientes de forma externo

$\theta$	Valores de $C_e$ para			
	$\alpha=90^\circ$		$\alpha=0^\circ$	
	EF	GH	EG	FH
$15^\circ$	-1	-0,4	-0,8	-0,6
$19,5^\circ$	-0,46	-0,4	-0,71	-0,6
$20^\circ$	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6

Fonte: Autoria Própria

Figura 37: Coeficiente de forma e pressão externas do telhado



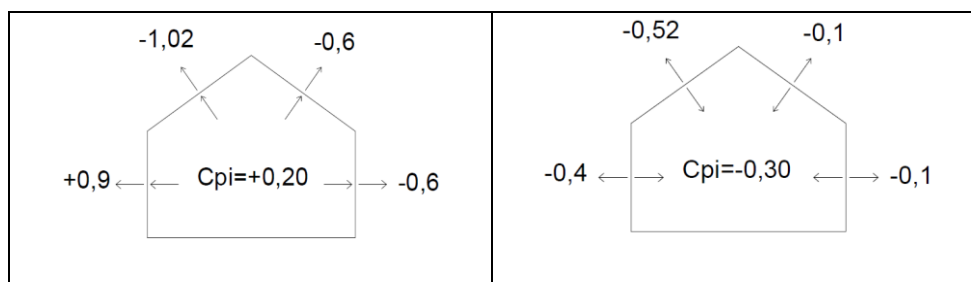
Fonte: Autoria Própria

Baseado nos coeficientes de forma interna e externa verificou-se quatro casos de combinações possíveis. A tabela 13 demonstra tais combinações.

Tabela 14 - Combinações vento

Casos Vento Longitudinal ( $\alpha=0^\circ$ )	
Caso 1: $C_{pe} (0^\circ) + C_{pi} (+0,2)$	Caso 2: $C_{pe} (0^\circ) + C_{pi} (-0,3)$
Casos Vento Transversal ( $\alpha=90^\circ$ )	
Caso 3: $C_{pe} (90^\circ) + C_{pi} (+0,2)$	Caso 4: $C_{pe} (90^\circ) + C_{pi} (-0,3)$





Fonte: Autoria Própria

### 6.3. Combinação e solicitação de cargas

Os valores-base de ponderação das ações para verificação dos estados limites últimos (ELU) foram definidos por meio da tabela 2 da ABNT NBR 14762/2010, disponível em anexo a este trabalho. Para os coeficientes e fatores de redução das ações no estado-limite de serviço (ELS) foi adotado o item 6.6.2.1 da norma, dispondo que os valores de ponderação em geral, são adotados igual a 1,0. Sendo assim, para a análise das ações da estrutura foram adotadas cinco combinações, conforme a tabela 14.

Tabela 15 - Combinações de esforços

Combinações			
Combinação 1			
Estado de Ações	E.L.U	Fator de Combinação	E.L.S
AP	1,40	1,00	1,00
AP Parede	1,40	1,00	1,00
SC	1,50	1,00	1,00
AP Telhado	1,40	1,00	1,00
SC Telhado	1,50	1,00	1,00
Combinação 2			
Estado de Ações	E.L.U	Fator de Combinação	E.L.S
AP	1,00	1,00	1,00
AP Parede	1,00	1,00	1,00
AP Telhado	1,00	1,00	1,00
V0	1,40	1,00	1,00
Combinação 3			
Estado de Ações	E.L.U	Fator de Combinação	E.L.S
AP	1,00	1,00	1,00

AP Parede	1,00	1,00	1,00
AP Telhado	1,00	1,00	1,00
V90	1,40	1,00	1,00
<b>Combinação 4</b>			
<b>Estado de Ações</b>	<b>E.L.U</b>	<b>Fator de Combinação</b>	<b>E.L.S</b>
AP	1,00	1,00	1,00
AP Parede	1,00	1,00	1,00
AP Telhado	1,00	1,00	1,00
V180	1,40	1,00	1,00
<b>Combinação 5</b>			
<b>Estado de Ações</b>	<b>E.L.U</b>	<b>Fator de Combinação</b>	<b>E.L.S</b>
AP	1,00	1,00	1,00
AP Parede	1,00	1,00	1,00
AP Telhado	1,00	1,00	1,00
V270	1,40	1,00	1,00

Fonte: Autoria Própria

Por meio das combinações inseridas, o programa calcula de forma automática a envoltória dos esforços solicitantes de cada elemento da edificação, selecionando as piores condições para o dimensionamento.

#### 6.4. Modelagem do projeto no software McalcLSF

O software estrutural utilizado para o cálculo e dimensionamento da estrutura constituída por perfis formados a frio, foi desenvolvido pela Stabile Engenharia LTDA. Segundo o desenvolvedor, é um programa destinado a modelar, analisar e dimensionar projeto de estruturas em *Light Steel Framing*. O McalcLSF é um dos componentes de uma família de softwares computacionais criados com a finalidade de projetar e dimensionar estruturas de aço. O programa é composto por uma série de módulos que desempenham diversas funções necessárias para cumprir seu objetivo principal. Pode-se dizer que o McalcLSF é formado por quatro grandes grupos de rotina, dispostos na tabela 15.

Tabela 16 - Grupos de rotina McalcLSF

Grupos de Rotina	
Grupo	Função
<b>Modelador LSF</b>	Configura as premissas que serão usadas no cálculo-projeto,
	Compatibiliza a geometria da estrutura LSF com o módulo de cálculo,
	Gera cargas gravitacionais e de vento na estrutura
	Exporta arquivos IFC para programas BIM
<b>Módulo Projeto</b>	Gera desenhos da estrutura LSF
	Plantas baixas
	Desenhos de implantação de vigas num entrepiso, com listas de materiais
	Desenhos de projeto dos painéis, com listas de materiais
	Desenhos de projeto das treliças, com listas de materiais
	Insere blocos de detalhes-padrão
	Gera planilha (Excel) de todos os perfis, com lista de cortes da estrutura junto com resumo para compras
<b>Módulo de Cálculo:</b>	mCalc3D com algumas limitações e pequenas modificações (perfis limitados aos perfis usados em LSF).
<b>Módulo Fabricação</b>	Geração de arquivos CNC para perfiladeiras com comando numérico. Este será um módulo opcional, porque nem todas as empresas possuem perfiladeiras CNC

Fonte: Stabile - McalcLSF

Quando solicitado, o modelador do mCalcLSF gera automaticamente um modelo de cálculo com as geometrias pré-definidas na inicialização do software, considerando os estados de ações. O programa realiza a análise de primeira e segunda ordem para determinar a sensibilidade da estrutura quanto aos deslocamentos. Segundo o desenvolvedor, o dimensionamento e a verificação dos perfis está em conformidade com a ABNT NBR 14762/2010. Todos os cálculos necessários para o dimensionamento são disponibilizados pelo programa em arquivo de texto, possibilitando ao usuário uma conferência passo a passo dos cálculos realizados pelo software.

O software dispõe de um módulo específico onde as funções permitem de maneira automatizada alocar os montantes e demais elementos de acordo com a modulação pré-definida no projeto. Assim que iniciado, o software solicita a inserção dos perfis para cada elemento que compõe a estrutura em *LSF*. Os perfis pré-definidos para a realização do projeto foram escolhidos baseados nas tabelas de pré-dimensionamento dos manuais de arquitetura e engenharia dispostos pelo CBCA. O modulador *LSF* permite que o usuário projete todos os elementos, das guias dos montantes ao telhado. Por meio do mesmo módulo, é possível se obter os projetos de planta e os quantitativos dos materiais da edificação. A tabela 16 demonstra os perfis selecionados para a realização do projeto, enquanto a figura 39 demonstra a interface do módulo tal como as ferramentas disponíveis para adequação.

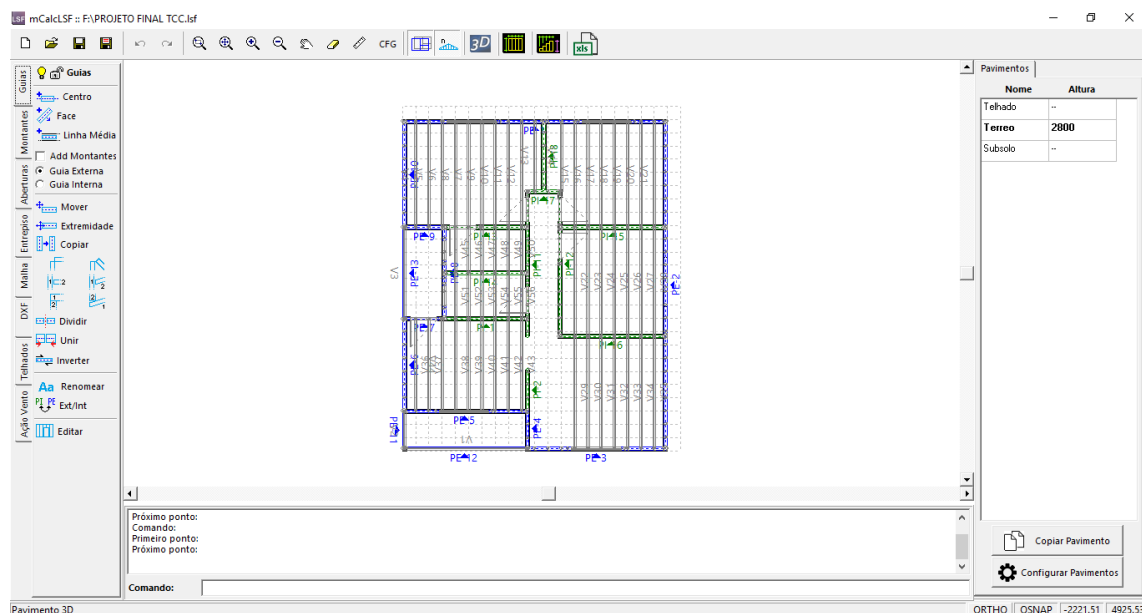
Tabela 17 - Perfis utilizados

Elemento	Denominação
Montante	Ue 90 x 40 x 12 x 0,95
Guia	U 92 x 40 x 0,95
Viga	Ue 100 x 50 x 17 x 2,25
Contravento	RET 50 x 0,95
Bloqueador	U 90 x 40 x 0,95
Banzos (treliças)	Ue 90 x 40 x 12 x 1,2
Diagonais	Ue 90 x 40 x 12 x 0,95
Espelho do Beiral	U 90 x 40 x 1,25
Cumeeira	90 x 40 x 1,25
Oitão	92 x 38 x 0,95

Terça/longarina	Cart 50 x 100 x 20 x 2
-----------------	------------------------

Fonte: Autoria Própria

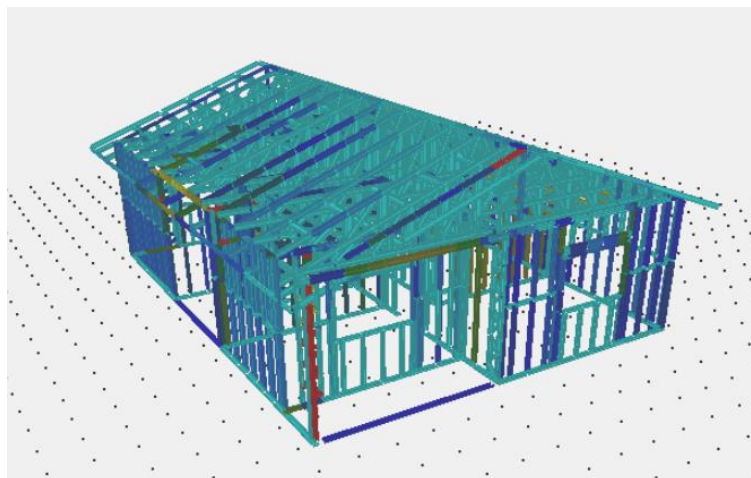
Figura 38: Interface do módulo *LSF*



Fonte: Mcalc*LSF*

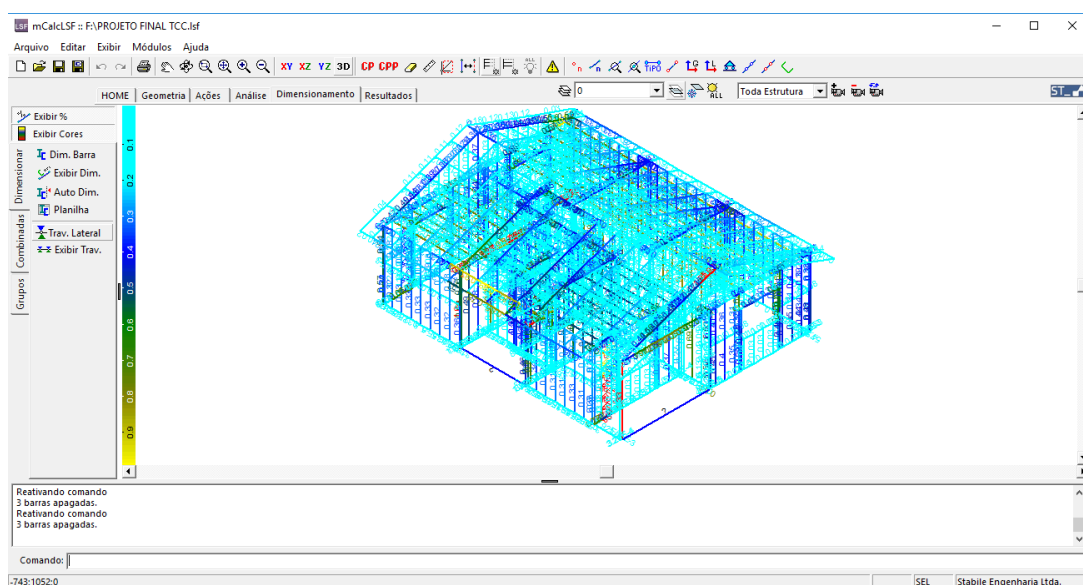
Após a inserção dos elementos é possível obter os cálculos de resistência e solicitações por meio do módulo de cálculo Mcalc3D (integrado ao Mcalc*LSF* com adequações aos perfis formados à frio). A renderização e a visualização dos *frames* (figura 40) de toda a estrutura são obtidas também por esse módulo, sendo possível apresentar ao usuário a prévia da estrutura do projeto.

Figura 39: Renderização dos *frames*



Fonte: Mcalc3D

Figura 40: Interface módulo Mcalc3D



Fonte: McalcLSF

O dimensionamento dos perfis é realizado por um dos módulos que compõe o software, mCalc\_Perfis. A proposta do componente é calcular as solicitações e as resistências da barra de acordo com o tipo, as dimensões e os carregamentos definidos. Segundo o desenvolvedor, o módulo de dimensionamento está de

acordo com as normas da ABNT NBR 14762/2010, verificando se os elementos apresentam boas condições de segurança, podendo ser aplicados ou não. Tais verificações são realizadas através das expressões de interações do item 9.9 da norma.

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0$$

Onde,

$N_{Sd}$  é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável, considerada constante na barra e oriunda da análise estrutural conforme 8.1;

$M_{x,Sd}$  e  $M_{y,Sd}$  são os momentos fletores solicitantes de cálculo, na seção considerada, em relação aos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente, e oriundos da análise estrutural conforme 8.1;

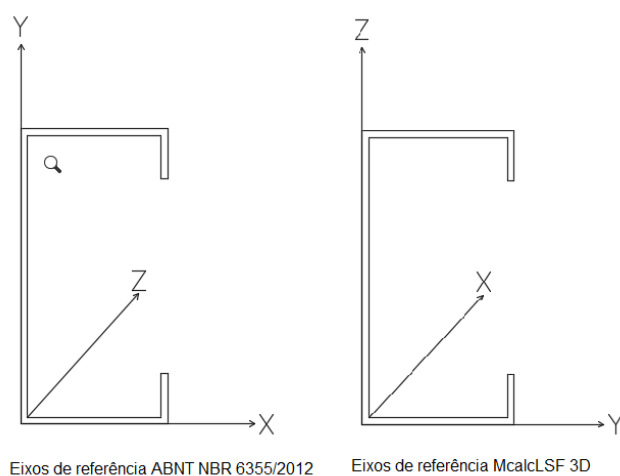
$N_{Rd}$  é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável, determinada respectivamente conforme 9.6 ou 9.7;

$M_{x,Rd}$  e  $M_{y,Rd}$  são os momentos fletores resistentes de cálculo, em relação aos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

## 7. Análise de resultados

Foram analisados e comparados os cálculos de dimensionamento dos perfis  $U_e$ , gerados pelo software com os cálculos dispostos pela norma ABNT NBR 14762/2010. O programa calcula a estrutura em um módulo 3D, por conta disso, os eixos locais  $y$  e  $z$  são os planos da seção (figura 41), enquanto o eixo  $x$  é o eixo de comprimento da barra. Desta forma, para os cálculos de flambagem e esforços resistentes com relação à um eixo, fez-se necessário uma adequação de forma que ficasse coerente com a planilha de dimensões do perfil da ABNT NBR 6355/2012, uma vez que os planos da seção dos perfis da norma são  $x$  e  $y$  para o plano da seção e  $z$  para o eixo longitudinal.

Figura 41: Eixos de referência

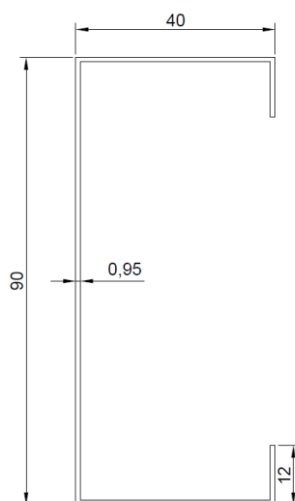


Fonte: Autoria Própria

### 7.1. Montante

O primeiro elemento a ser analisado foi um montante composto por um perfil U enrijecido 90 x 40 x 12 x 0,95 (figura 42) submetido somente à compressão axial com altura de 280cm. As solicitações consideradas para a análise dos resultados foram geradas pelo software com base nas envoltórias das combinações (tabela 15).

Figura 42: Perfil Ue 90 x 40 x 12 x 0,95 (mm)



Fonte: Autoria Própria



Tabela 18 - Combinações de esforços montante

Elemento: Montante					
Barra: 493					
Envoltória de combinações geradas pelo software (kgf)					
Combinação	NcSd	NtSd	VxSd	VySd	MxSd
1	227,43	0	0	0	0
2	77,84	0	0	0	0
3	80,5	0	0	0	0
4	77,8	0	0	0	0
5	78,58	0	0	0	0

Fonte: Autoria Própria

Conforme os dados da tabela 15, observa-se que o pior caso a ser analisado foi a combinação 1, com solicitação de compressão na barra (NcSd) de 227,43 kgf. Os cálculos de resistência foram realizados de acordo com a ABNT NBR 14762/2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituída de perfis formados a frio. As expressões utilizadas para a avaliação podem ser verificadas em anexo a este trabalho.

Tabela 19: Esforços resistentes

Compressão				Und	Equivalência
Item 9.7 - NBR 14762/2010			Memorial de Cálculo McalcLSF		
Descrição	Denominação	Valor	Valor		
Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Z (Y):	Nez (y)	1008,99	1012,43	kgf	99,66%
Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y (X):	Ney (x)	5738,13	5766,28	kgf	99,51%

<b>Força normal de flambagem elástica por torção:</b>	Net	861,44	888,53	kgf	96,95%
Força normal de flambagem elástica por Flexo torção:	Next	808,50	832,45	kgf	97,12%
A força axial de flambagem global elástica $N_e$ é a menor entre os valores obtidos (Item 9.7.2.1 NBR 14762/10)	$N_e$	808,50	832,45	kgf	97,12%
Índice reduzido de esbeltez da barra	$\lambda_0$	2,31	2,31		100,00%
Fator de redução da força axial de compressão resistente ( $\lambda_0 > 1,5$ )	X	0,16	0,16		100,00%
<b>Compressão devido à flambagem global</b>	<b>NcRd</b>	<b>604,62</b>	<b>605,71</b>	<b>kgf</b>	<b>99,82%</b>
<b>Solicitação/Resistência</b>	<b>NcSd/NcRd</b>	<b>0,376</b>	<b>0,375</b>		<b>99,82%</b>

Fonte: Autoria Própria

Por estar submetido somente a compressão, as resistências foram calculadas com base nos modos de colapso de um perfil comprimido, flambagem global. Segundo de Carvalho, Grigoletti e Barbosa (2014), a flambagem global apresenta-se de três formas: Flambagem por flexão, torção e flexo-torção. Após os cálculos das resistências, verificou-se que os valores obtidos por meio da norma, se encontram muito próximos ao que o software forneceu. A relação entre a solicitação e a resistência equiparou-se quase 100% à norma, tendo como equivalência máxima de 99,82% e mínima de 96,95%. Devido a esses dados, pode-se afirmar que para o cálculo dos montantes, o software é equivalente à norma.

## 7.2. Viga de entrepiso

Assim como o cálculo das resistências dos montantes, os esforços solicitantes (tabela 19) foram obtidos por meio das envoltórias das combinações geradas pelo

software. O pior caso à ser analisado, assim como no caso do montante, foi a combinação 1.

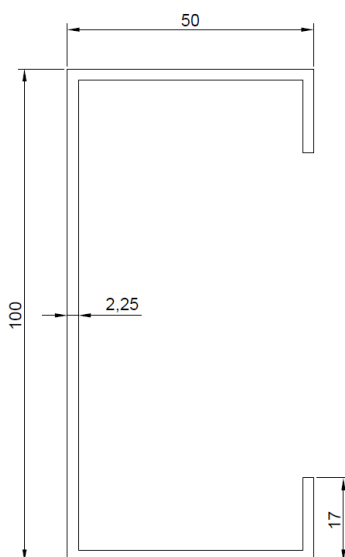
Tabela 20: Combinação de esforços viga

Elemento: Viga						
Barra: 494						
Envoltória de combinações geradas pelo software (kgf)						
Combinação	NcSd	NtSd	VxSd	VySd	MxSd	MySd
1	59,85	0,00	0,51	204,29	16291,94	93,24
2	16,77	0,00	-3,34	43,38	3459,87	548,31
3	14,81	0,00	-8,22	43,38	3459,87	-1321,44
4	0,00	-29,88	4,52	43,38	3459,87	-736,07
5	0,00	-78,08	8,41	43,38	3459,87	-1357,9

Fonte: Autoria Própria

Segundo Freitas e Crasto (2006), para aplicações residenciais são recomendados vãos de até 4 metros para uso de perfis Ue 200 x 40 x 0,95. O vão sobre o qual a viga está atuando, possui 3,19 m. Desta forma, o perfil adotado para as vigas de entrepiso foi o perfil Ue 100 x 50 x 17 x 2,25.

Figura 43: Perfil Ue 90 x 40 x 12 x 0,95 (mm)



Fonte: Autoria Própria

Tabela 21: Esforços resistentes

Cálculo resistência compressão Item 9.7 - NBR 14762/2010			McalcLSF	Unidade	Equivalência
Descrição	Denominação	Valor	Valor		
Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Z (Y):	Nez (y)	3433,60	3295,35	kgf	95,97%
Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y (X):	Ney (x)	15405,72	14778,11	kgf	95,93%
<b>Força normal de flambagem elástica por torção:</b>	Net	4056,33	4049,5	kgf	99,83%
<b>Força normal de flambagem elástica por Flexo torção:</b>	Next	3553,78	3572,21	kgf	99,48%
A força axial de flambagem global elástica Ne é a menor entre os valores obtidos (Item 9.7.2.1 NBR 14762/10)	Ne	3433,60	3295,35	kgf	95,97%
<b>Índice reduzido de esbeltez da barra</b>	$\lambda_0$	1,89	1,92		98,68%
<b>Fator de redução da força axial de compressão resistente (<math>\lambda_0 &gt; 1,5</math>)</b>	X	0,24	0,24		100,00%
<b>Compressão devido à flambagem global</b>	NcRd	2509,39	2408,35	kgf	95,97%
<b>Solicitação/Resistência</b>	NcSd/NcRd	0,024	0,025	95,97%	
Cálculo resistência à Flexão - Eixo Y (X) Item 9.8.2 - NBR 14762/2010			McalcLSF	Unidade	Equivalência

Momento resistente devido ao início do escoamento efetivo					
Descrição	Denominação	Valor	Valor		
Área Efetiva da seção	Aef	4,93	4,86	cm²	98,58%
Momento de inércia efetiva da seção em relação ao eixo Y (X)	Ixef	77,89	76,19	cm⁴	97,82%
Posição final do eixo baricêntrico	YgFinal	5,00	5,00	cm	100,00%
Momento de inércia efetiva da seção em relação ao baricentrico	Ig	77,89	76,19	cm⁴	97,82%
Módulo Elástico efetivo	Wef	15,58	15,24	cm³	97,83%
Resistência de cálculo a flexão para o início do deslocamento	M <sup>PL</sup> <sub>Rdx</sub>	35404,55	34631,80	kgf/cm	97,82%
Momento resistente devido a flambagem lateral com torção					
Momento fletor de flambagem lateral com torção em regime elástico	Me	22552,47	24957,38	kgf.cm	90,36%
Índice reduzido de esbeltez da barra	λ0	1,31	1,24		94,36%
Fator de redução do momento fletor resistente	XFLT	0,58	0,64		90,17%
para 0,6 < λ0 < 1,336 (item 9.8.2.2)					
Tensão	σ	1442,64	1597,46	kgf/cm²	90,31%
Resistência de cálculo à flexão para o estado limite flambagem lateral	M <sup>FLT</sup> <sub>Rdx</sub>	20430,43	22129,13	kgf.cm²	92,32%
Resistência do cálculo a compressão	Mrdx	20430,43	22129,13	kgf.cm	92,32%
Solicitação/Resistência	MxSd/MxRd	0,797	0,736	92%	

Cálculo resistência à Flexão - Eixo Z Item 9.8.2 - NBR 14762/2010			McalcLSF	Unidade	Equivalência
Momento resistente devido ao início do escoamento efetivo					
Descrição	Denominação	Valor	Valor		
Área Efetiva da seção	Aef	4,93	4,86	cm²	98,58%
Momento de inércia efetiva da seção em relação ao eixo Y (X)	Ixef	17,36	16,99	cm⁴	97,87%
Posição final do eixo baricêntrico	XgFinal	3,23	3,23	cm	100,00%
Momento de inércia efetiva da seção em relação ao baricentrico	Ig	17,36	16,99	cm⁴	97,87%
Módulo Elástico efetivo	Wef	5,37	5,26	cm³	97,87%
Resistência de cálculo a flexão para o início do deslocamento	M <sup>PL</sup> <sub>Rdx</sub>	12215,03	11956,11	kgf/cm	97,88%
Cálculo resistência ao cortante - Eixo Z Item 9.8.3 - NBR 14762/2010			McalcLSF	Unidade	Equivalência
Momento resistente devido ao início do escoamento efetivo					
Descrição	Denominação	Valor	Valor		
Parâmetro de esbeltez	λ	40,44	40,44		100%
Coeficiente de flambagem local por cisalhamento (9.8.3) Sem enrijecedores transversais	Kv	5,00	5,00		100%
Parâmetro de esbeltez limite para plastificação	λp	68,31	68,31		100%

Parâmetro de esbeltez limite para escoamento	$\lambda_r$	88,54	88,54		100%	
Força cortante resistente para $\lambda < \lambda_p$	Vrdz	2792,05	2792,05	kgf	100%	
Solicitação/Resistência	Vsdz/Vrdz	0,07	0,07	100%		
Cálculo resistência ao cortante - Eixo Y Item 9.8.3 - NBR 14762/2010				McalcLSF	Unidade	Equivalência
Momento resistente devido ao início do escoamento efetivo						
Descrição	Denominação	Valor	Valor			
Parâmetro de esbeltez	$\lambda$	18,2	18,2		100%	
Coeficiente de flambagem local por cisalhamento (9.8.3) Sem enrijecedores transversais	Kv	5,0	5,0		100%	
Parâmetro de esbeltez limite para plastificação	$\lambda_p$	68,3	68,3		100%	
Parâmetro de esbeltez limite para escoamento	$\lambda_r$	88,5	88,5		100%	
Força cortante resistente para $\lambda < \lambda_p$	Vrdy	2515,9	2515,9	kgf	100%	
Solicitação/Resistência	Vsdy/Vrdy	0,000203	0,000203	100%		

Fonte: Autoria Própria

Verificou-se que os valores da maioria dos esforços não deram 100% de equivalência. Isso deve-se à vários fatores. Primeiramente, o cálculo dos esforços foi baseado nas dimensões dos perfis da norma ABNT NBR 6355/2012, em muitos aspectos o programa se aproximava, no entanto, não se igualava. Isso fez com que os valores finais não se igualassem totalmente aos valores gerados com base na norma de dimensionamento em aço de perfis formados a frio. Além disso, foi considerado para o cálculo, todas as casas decimais de todos os itens, enquanto o programa arredondava para apenas duas casas decimais. Embora os valores não tenham se equiparado a 100%, há uma aproximação muito grande e não interferiu amplamente nos resultados finais de resistência aos esforços.



## 8. CONCLUSÃO

Este trabalho abordou o sistema *Light Steel Framing* aplicado a um projeto do programa de habitação social de Brasília, inserindo uma planta de arquitetura ao software estrutural ainda em desenvolvimento. O mercado do sistema construtivo em questão, ainda conta com poucas ferramentas computacionais para automatização do dimensionamento dos elementos componentes. Sabe-se da complexidade de se criar um programa e da lacuna que existe no mercado da construção em aços leves.

O *mCalcLSF* é um software desenvolvido por uma empresa brasileira exclusivamente para modelagem e dimensionamento de estruturas *LSF*. Por ainda estar em fase de desenvolvimento, vários aprimoramentos no software ainda serão realizados. No entanto, com as ferramentas já disponíveis é possível se obter por completo um projeto estrutural em *LSF*, incluindo memoriais de cálculo, plantas de locação dos painéis, quantitativos e uma visualização prévia em 3D do projeto.

Os memoriais de cálculo gerados pelo programa, foram comparados com a norma vigente de dimensionamento de perfis em aço formados a frio (NBR 14762/2010) e embora não tenha alcançado 100% de equivalência em muitos pontos, o software obteve o mínimo de 90% de exatidão. Isso deve-se pelas dimensões dos perfis considerados pelo sistema, que não foram totalmente equivalentes a norma de padronização dos perfis estruturais de aço formados à frio (ABNT NBR 6355/2012)

Por meio do embasamento teórico realizado neste projeto, foi possível perceber que há na implantação do *Light Steel Framing*, uma viabilidade técnica devido as vantagens que o sistema proporciona. No entanto, para a escolha do método construtivo adequado à uma edificação, além de uma análise de viabilidade técnica, uma análise de viabilidade econômica também se faz necessária.

## 9. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

BATISTA, Rafael C. Análise estrutural de uma residência constituída por perfis de aço galvanizados de pequena espessura formados a frio segundo o sistema construtivo a seco – *Light Steel Framing (LSF)*. 2011. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARDÃO, Celso. Técnica da Construção Vol. 2. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1964.

CONSULSTEEL. Construcción com acero leviano – Manual de Procedimiento. Buenos Aires: Consul Steel, 2002.

DE CARVALHO, Paulo; GRIGOLETTI, Gladimir; BARBOSA, Giovana. *Curso básico de perfis de aço formados a frio*. 3.ed. Porto Alegre: [s.n], 2014.

LABOUBE, Roger. Design guide dor cold-formed steel trusses. Washington: American Iron and Steel Institute (AISI), 1995.

MOLITERNO, Antonio. Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira. São Paulo; Ed. Edgard Bücher LTDA, 2003.

RODRIGUES, Francisco Carlos. Steel Framing: Engenharia / Francisco Carlos Rodrigues. Rio de Janeiro: IBS / CBCA, 2006. 127p. 29 cm. (Série Manual de Construção em Aço). 47

SCHARFF, Robert. Residential steel framing handbook. New York: McGraw Hill, 1996.

SANTIAGO, Alexandre Kokke et al. Steel Framing: Arquitetura / Alexandre Kokke Santiago, Arlene Maria Sarmanho Freitas, Renata Cristina Moraes de Crasto. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2012. 151p. 29 cm. (Série Manual de Construção em Aço).

WAITE, Timothy J. Steel-frame house construction. California: Craftsman Book Company, 2000.

## 10. Anexos

### Anexo A

#### Referencias de cálculo à compressão

Cálculo resistência compressão (Montante) Item 9.7 - NBR 14762/2010			
Descrição	Denominação	Norma NBR 14762/2010	
		Expressão Utilizada	Referência
Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Z (Y):	Nez (y)	$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2}$	Item 9.7.2 (a)
Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y (X):	Ney (x)	$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2}$	Item 9.7.2 (b)
Força normal de flambagem elástica por torção:	Net	$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$	Item 9.7.2.1 (c)
Força normal de flambagem elástica por Flexo torção:	Next	$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2[1 - (x_0/r_0)^2]} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ex}N_{ez}[1 - (x_0/r_0)^2]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right]$	Item 9.7.2.2 (b)
A força axial de flambagem global elástica Ne é a menor entre os valores obtidos	Ne	A força axial de flambagem global elástica Ne de um perfil com seção monossimétrica, cujo eixo x é o eixo de simetria, é o menor valor dentre os obtidos por a) e b):	Item 9.7.2.2
Índice reduzido de esbeltez da barra	$\lambda_0$	$\lambda_0 = \left( \frac{Af_y}{N_e} \right)^{0,5}$	Item 9.7.2
Fator de redução da força axial de compressão resistente ( $\lambda_0 > 1,5$ )	$\chi$	$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$	Item 9.7.2
<b>Compressão devido à flambagem global</b>	NcRd	$N_{c,Rd} = \chi A_d f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,20)$	Item 9.7.2

## Anexo B

Cálculo das Larguras Efetivas Eu 100 x 50 x 17 x 2,25			
Método da Largura Efetiva NBR 14792/2010 - 9.2.2			
Descrição	Denominação	Valor	Unidade
Tensão normal de compressão para ELU de instabilidade	$\sigma$	6,108	Kn/cm <sup>2</sup>
Enrijecedor de Borda (Elemento com borda livre AL)			
Descrição	Denominação	Valor	Unidade
Coeficiente de flambagem local do elemento AL (Tabela 6 Caso A)	K	0,43	
Largura do elemento	D	12,5	mm
Índice de Esbeltez reduzido do elemento	$\lambda_p$	0,156	
Largura efetiva $\lambda_p < 0,673$ , Logo Def = D	Def	12,5	mm
Mesa (Elemento com Enrijecedor de Borda)			
Descrição	Denominação	Valor	Unidade
Coeficiente de flambagem local do elemento AA (Tabela 5 Caso A)	K	4	
Largura do elemento	bf	41	mm
Índice de Esbeltez reduzido (elemento com enrijecedor de borda)	$\lambda_p$	0,511	
Largura efetiva $\lambda_p < 0,673$ , Logo bfef = bf	bfef	41	mm
Alma (Elemento Vinculado)			
Descrição	Denominação	Valor	Unidade
Coeficiente de flambagem local do elemento AA (Tabela 5 Caso A)	K	4	
Largura do elemento	bw	91	mm
Índice de Esbeltez reduzido	$\lambda_p$	0,371998906	
Largura efetiva $\lambda_p < 0,673$ , Logo bwef = bw	bwef	91	mm
Comprimento Retirado			
Descrição	Denominação	Valor	Unidade
Comprimento Total retirado	Iret	0	mm
Área Total retirada	Aret	0	cm <sup>2</sup>
Área Efetiva	A-Aret	4,93	cm <sup>2</sup>

## Anexo C

### Memorial de cálculo gerado pelo software - Viga

#### Perfil U Enrigecido (Formado a frio)

Perfil: UENR 100 x 50 x 17 x 2.25

Aço: ASTM A36  $f_y = 250 \text{ MPa}$   $f_u = 400 \text{ MPa}$

#### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 319,01 \text{ cm}$   $K_z L_z = 319,01 \text{ cm}$

$K_y L_y = 319,01 \text{ cm}$   $L_b = 319,01 \text{ cm}$

### 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 11045,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 11781,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 11045,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 14778,11 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 3295,35 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 4049,50 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,53$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 3527,21 \text{ kgf}$$

$$N_e = 3295,35 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 1,92$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{0,877}{(\lambda_0)^2} = 0,24$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 4,86 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 2408,35 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 4,74 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 9870,42 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 2408,35 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,01 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 4,86 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 76,19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 5,00 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 76,19 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 15,24 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 34631,80 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 24957,38 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 15,24 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 1,24 \quad 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,64 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

Cálculo de  $W_{cef}$  na tensão  $\sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 1597,46 \text{ kgf/cm}^2$

$A_{ef} = 4,86 \text{ cm}^2$  Área efetiva da seção

$I_{xef} = 76,19 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y

$d = 0,00 \text{ cm}$  Rebaixamento total do eixo baricêntrico

$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 5,00 \text{ cm}$  Posição final do eixo baricêntrico

$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 76,19 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

$W_{cef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 15,24 \text{ cm}^3$  Módulo elástico efetivo

$M_{Rdx}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 22129,13 \text{ kgf.cm}$  Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

$M_{Rdx} = 22129,13 \text{ kgf.cm}$  Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,74 < 1,00$  OK!

#### 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

##### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$A_{ef} = 4,86 \text{ cm}^2$  Área efetiva da seção

$I_{yef} = 16,99 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

$d = 0,00 \text{ cm}$  Rebaixamento total do eixo baricêntrico

$x_{G \text{ final}} = x_G + d = 3,23 \text{ cm}$  Posição final do eixo baricêntrico

$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 16,99 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

$W_{ef} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = 5,26 \text{ cm}^3$  Módulo elástico efetivo

$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 11956,11 \text{ kgf.cm}$  Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z

##### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$C_s = -1,00$

$C_m = 1,00$

$j = 6,04 \text{ cm}$  Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010

$M_e = \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left( \frac{N_{et}}{N_{ey}} \right)} \right] = 11315,04 \text{ kgf.cm}$  Momento fletor de flambagem lateral com torção

$W_c = 5,26 \text{ cm}^3$  Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida

$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 1,08$   $0,6 < \lambda_o < 1,336$  então  $\chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$



$\chi_{FLT} = 0,75$  Fator de redução associado à flambagem lateral com torção

Cálculo de  $W_{cef}$  na tensão  $\sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 1878,33 \text{ kgf/cm}^2$

$A_{ef} = 4,86 \text{ cm}^2$  Área efetiva da seção

$I_{yef} = 16,99 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

$d = 0,00 \text{ cm}$  Rebaixamento total do eixo baricêntrico

$x_{G \text{ final}} = x_G + d = 3,23 \text{ cm}$  Posição final do eixo baricêntrico

$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 16,99 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

$W_{ef} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = 5,26 \text{ cm}^3$  Módulo elástico efetivo

$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 8982,99 \text{ kgf.cm}$  Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

$M_{yRd} = 8982,99 \text{ kgf.cm}$  Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,07 < 1,00$  OK!

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$\lambda = \frac{h}{t} = 18,22$  Parâmetro de esbeltez

$k_v = 5,00$  Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31$  Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54$  Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento  $\lambda \leq \lambda_p$  então

$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$

$V_{Rdy} = 2515,91 \text{ kgf}$  Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00$  OK!

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$\lambda = \frac{h}{t} = 40,44$  Parâmetro de esbeltez

$k_v = 5,00$  Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} =$$

68,31 Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} =$$

88,54

Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento  $\lambda \leq \lambda_p$  então

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 2792,05 \text{ kgf}$$

Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} =$$

$$0,07 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,81$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,80$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,80$$

## Anexo D

### Memorial de cálculo gerado pelo software - Montante

#### Perfil U Enrigecido (Formado a frio)

Perfil: UENR 90 x 40 x 12 x 0.95

Aço: ASTM A36  $f_y = 250 \text{ MPa}$   $f_u = 400 \text{ MPa}$

#### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 280 \text{ cm}$   $K_z L_z = 280 \text{ cm}$

$K_y L_y = 280 \text{ cm}$   $L_b = 280 \text{ cm}$

### 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 4024,55 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 4292,85 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 4024,55 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 5766,28 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 1012,43 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 888,53 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{\chi_o^2}{r_o^2} = 0,60$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 832,45 \text{ kgf}$$

$$N_e = 832,45 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 2,312$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{0,877}{(\lambda_0)^2} = 0,16$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 1,76 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 605,71 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 1,32 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 2754,30 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 605,71 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,41 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 1,73 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 22,16 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = -0,21 \text{ cm} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 4,29 \text{ cm} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 22,08 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 5,15 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 11710,05 \text{ kgf.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 10628,34 \text{ kgf.cm} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 5,09 \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 1,09 \quad 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,74 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 1851,47 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 1,77 \text{ cm}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{xef} &= 22,90 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ cm} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 4,50 \text{ cm} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 22,90 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 5,09 \text{ cm}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 8566,30 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\
 M_{Rdx} &= 8566,30 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Z

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 1,77 \text{ cm}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 4,02 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z} \\
 d &= 0,00 \text{ cm} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 2,69 \text{ cm} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 4,02 \text{ cm}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 1,49 \text{ cm}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdy} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 3395,73 \text{ kgf.cm} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Z}
 \end{aligned}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 C_s &= -1,00 \\
 C_m &= 1,00 \\
 j &= 5,17 \text{ cm} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\
 M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ey}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2} \cdot \left( \frac{N_{et}}{N_{ey}} \right) \right] = 2094,62 \text{ kgf.cm} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 1,49 \text{ cm}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 1,34 && 0,6 < \lambda_o < 1,336 \text{ então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2) \\
 \chi_{FLT} &= 0,56 && \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}
 \end{aligned}$$

Cálculo de  $W_{cef}$  na tensão  $\sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 1399,29 \text{ kgf/cm}^2$

$A_{ef} = 1,77 \text{ cm}^2$  Área efetiva da seção

$I_{yef} = 4,02 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Z

$d = 0,00 \text{ cm}$  Rebaixamento total do eixo baricêntrico

$\chi_{G \text{ final}} = \chi_G + d = 2,69 \text{ cm}$  Posição final do eixo baricêntrico

$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 4,02 \text{ cm}^4$  Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico

$W_{ef} = \frac{I_G}{\chi_{G \text{ final}}} = 1,49 \text{ cm}^3$  Módulo elástico efetivo

$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 1900,64 \text{ kgf.cm}$  Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT

$M_{yRd} = 1900,64 \text{ kgf.cm}$  Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y

$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,00 < 1,00$  OK!

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$\lambda = \frac{h}{t} = 38,11$  Parâmetro de esbeltez

$k_v = 5,00$  Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31$  Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54$  Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento  $\lambda \leq \lambda_p$  então

$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$

$V_{Rdy} = 937,91 \text{ kgf}$  Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00$  OK!

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Z

$\lambda = \frac{h}{t} = 90,74$  Parâmetro de esbeltez

$k_v = 5,00$  Coeficiente de flambagem local por cisalhamento

$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31$  Parâmetro de esbeltez limite para plastificação

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54$$

Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento  $\lambda > \lambda_r$  então

$$V_{Rd} = \frac{(0,905 \cdot t^3 \cdot k_v \cdot E) / h}{1,10}$$

$$V_{Rdz} = 818,31 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,41$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{oRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,41$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00$$

## Anexo E

### Perfil Ue – Dimensões, massas e propriedades geométricas

Perfil			Dimensões					Eixo x					Eixo y					
Ue	m kg/m	A cm²	b <sub>w</sub> mm	b <sub>f</sub> mm	D mm	t = t <sub>n</sub> mm	r <sub>i</sub> mm	I <sub>x</sub> cm⁴	W <sub>x</sub> cm³	r <sub>x</sub> cm	X <sub>g</sub> cm	x <sub>0</sub> cm	I <sub>y</sub> cm⁴	W <sub>y</sub> cm³	r <sub>y</sub> cm	I <sub>t</sub> cm⁴	C <sub>w</sub> cm⁶	r <sub>0</sub> cm
50 × 25 × 10 × 1,20	1,06	1,35	50	25	10,00	1,20	1,20	5,24	2,09	1,97	0,93	2,17	1,23	0,78	0,95	0,01	8,13	3,08
50 × 25 × 10 × 1,50	1,30	1,65	50	25	10,00	1,50	1,50	6,32	2,53	1,96	0,93	2,13	1,46	0,93	0,94	0,01	9,62	3,04
50 × 25 × 10 × 2,00	1,68	2,14	50	25	10,00	2,00	2,00	7,93	3,17	1,93	0,93	2,07	1,78	1,13	0,91	0,03	11,68	2,97
50 × 25 × 10 × 2,25	1,86	2,37	50	25	10,00	2,25	2,25	8,65	3,46	1,91	0,93	2,04	1,91	1,22	0,90	0,04	12,53	2,94
50 × 25 × 10 × 2,65	2,13	2,72	50	25	10,00	2,65	2,65	9,68	3,87	1,89	0,92	1,99	2,09	1,33	0,88	0,06	13,66	2,88
50 × 25 × 10 × 3,00	2,36	3,01	50	25	10,00	3,00	3,00	10,46	4,18	1,86	0,92	1,95	2,21	1,40	0,86	0,09	14,45	2,83
75 × 40 × 15 × 1,20	1,67	2,13	75	40	15,00	1,20	1,20	19,32	5,15	3,02	1,51	3,56	5,14	2,06	1,55	0,01	76,95	4,92
75 × 40 × 15 × 1,50	2,06	2,63	75	40	15,00	1,50	1,50	23,62	6,30	3,00	1,51	3,53	6,23	2,50	1,54	0,02	92,87	4,88
75 × 40 × 15 × 2,00	2,70	3,44	75	40	15,00	2,00	2,00	30,33	8,09	2,97	1,50	3,47	7,88	3,15	1,51	0,05	116,73	4,81
75 × 40 × 15 × 2,25	3,01	3,83	75	40	15,00	2,25	2,25	33,47	8,93	2,96	1,50	3,44	8,62	3,45	1,50	0,06	127,47	4,78
75 × 40 × 15 × 2,65	3,49	4,44	75	40	15,00	2,65	2,65	38,22	10,19	2,93	1,50	3,39	9,72	3,89	1,48	0,10	143,09	4,72
75 × 40 × 15 × 3,00	3,89	4,96	75	40	15,00	3,00	3,00	42,08	11,22	2,91	1,50	3,34	10,58	4,23	1,46	0,15	155,27	4,67
100 × 40 × 17 × 1,20	1,94	2,47	100	40	17,00	1,20	1,20	38,29	7,66	3,93	1,38	3,36	6,01	2,29	1,56	0,01	148,49	5,41
100 × 40 × 17 × 1,50	2,40	3,06	100	40	17,00	1,50	1,50	46,97	9,39	3,92	1,38	3,33	7,30	2,78	1,54	0,02	179,90	5,37
100 × 40 × 17 × 2,00	3,15	4,02	100	40	17,00	2,00	2,00	60,66	12,13	3,89	1,38	3,27	9,25	3,53	1,52	0,05	227,57	5,30
100 × 40 × 17 × 2,25	3,52	4,48	100	40	17,00	2,25	2,25	67,14	13,43	3,87	1,37	3,24	10,15	3,87	1,50	0,08	249,31	5,27
100 × 40 × 17 × 2,65	4,09	5,21	100	40	17,00	2,65	2,65	77,03	15,41	3,85	1,37	3,19	11,47	4,37	1,48	0,12	281,34	5,21
100 × 40 × 17 × 3,00	4,58	5,83	100	40	17,00	3,00	3,00	85,19	17,04	3,82	1,37	3,15	12,51	4,76	1,47	0,17	306,71	5,17
100 × 40 × 17 × 3,35	5,05	6,43	100	40	17,00	3,35	3,35	92,90	18,58	3,80	1,37	3,11	13,46	5,12	1,45	0,24	329,71	5,12
100 × 50 × 17 × 1,20	2,13	2,71	100	50	17,00	1,20	1,20	44,15	8,83	4,03	1,79	4,28	10,12	3,15	1,93	0,01	246,61	6,19
100 × 50 × 17 × 1,50	2,64	3,36	100	50	17,00	1,50	1,50	54,25	10,85	4,02	1,79	4,24	12,33	3,84	1,92	0,03	299,85	6,15
100 × 50 × 17 × 2,00	3,47	4,42	100	50	17,00	2,00	2,00	70,26	14,05	3,99	1,78	4,18	15,76	4,90	1,89	0,06	381,65	6,08
100 × 50 × 17 × 2,25	3,87	4,93	100	50	17,00	2,25	2,25	77,89	15,58	3,97	1,78	4,15	17,36	5,39	1,88	0,08	419,43	6,05
100 × 50 × 17 × 2,65	4,51	5,74	100	50	17,00	2,65	2,65	89,59	17,92	3,95	1,78	4,10	19,74	6,13	1,85	0,13	475,74	5,99
100 × 50 × 17 × 3,00	5,05	6,43	100	50	17,00	3,00	3,00	99,30	19,86	3,93	1,78	4,06	21,66	6,72	1,84	0,19	521,00	5,94
100 × 50 × 17 × 3,35	5,57	7,10	100	50	17,00	3,35	3,35	108,55	21,71	3,91	1,77	4,02	23,43	7,26	1,82	0,27	562,68	5,89



## Anexo F

### Perfil Ue – Dimensões, massas e propriedades geométricas

Perfil			Dimensões					Eixo x					Eixo y					
Ue	m kg/m	A cm <sup>2</sup>	b <sub>w</sub> mm	b <sub>f</sub> mm	D mm	t = t <sub>n</sub> mm	r <sub>i</sub> mm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	X <sub>g</sub> cm	x <sub>0</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	r <sub>0</sub> cm
125 × 50 × 17 × 2,00	3,86	4,92	125	50	17,00	2,00	2,00	118,35	18,94	4,91	1,61	3,87	17,04	5,03	1,86	0,07	594,42	6,52
125 × 50 × 17 × 2,25	4,31	5,49	125	50	17,00	2,25	2,25	131,41	21,03	4,89	1,61	3,84	18,76	5,54	1,85	0,09	654,38	6,49
125 × 50 × 17 × 2,65	5,03	6,40	125	50	17,00	2,65	2,65	151,52	24,24	4,87	1,61	3,79	21,35	6,29	1,83	0,15	744,30	6,43
125 × 50 × 17 × 3,00	5,63	7,18	125	50	17,00	3,00	3,00	168,35	26,94	4,84	1,61	3,75	23,44	6,91	1,81	0,22	817,11	6,39
125 × 50 × 17 × 3,35	6,23	7,94	125	50	17,00	3,35	3,35	184,45	29,51	4,82	1,60	3,71	25,37	7,47	1,79	0,30	884,65	6,34
125 × 50 × 17 × 3,75	6,90	8,79	125	50	17,00	3,75	3,75	201,98	32,32	4,79	1,60	3,66	27,38	8,06	1,77	0,41	955,66	6,28
150 × 60 × 20 × 2,00	4,66	5,94	150	60	20,00	2,00	2,00	207,59	27,68	5,91	1,93	4,66	30,02	7,37	2,25	0,08	1498,57	7,86
150 × 60 × 20 × 2,25	5,21	6,64	150	60	20,00	2,25	2,25	231,03	30,80	5,90	1,92	4,63	33,19	8,14	2,24	0,11	1655,84	7,83
150 × 60 × 20 × 2,65	6,09	7,75	150	60	20,00	2,65	2,65	267,39	35,65	5,87	1,92	4,59	37,99	9,32	2,21	0,18	1894,61	7,77
150 × 60 × 20 × 3,00	6,84	8,71	150	60	20,00	3,00	3,00	298,07	39,74	5,85	1,92	4,55	41,94	10,28	2,19	0,26	2090,94	7,73
150 × 60 × 20 × 3,35	7,57	9,65	150	60	20,00	3,35	3,35	327,70	43,69	5,83	1,92	4,50	45,65	11,18	2,18	0,36	2275,90	7,68
150 × 60 × 20 × 3,75	8,40	10,70	150	60	20,00	3,75	3,75	360,28	48,04	5,80	1,92	4,46	49,61	12,15	2,15	0,50	2473,81	7,63
150 × 60 × 20 × 4,25	9,41	11,99	150	60	20,00	4,25	4,25	399,11	53,22	5,77	1,91	4,40	54,15	13,25	2,13	0,72	2701,76	7,56
150 × 60 × 20 × 4,75	10,39	13,24	150	60	20,00	4,75	4,75	435,87	58,12	5,74	1,91	4,34	58,24	14,24	2,10	0,99	2909,03	7,49
200 × 75 × 20 × 2,00	5,92	7,54	200	75	20,00	2,00	2,00	467,42	46,74	7,88	2,20	5,42	56,30	10,62	2,73	0,10	4615,39	9,94
200 × 75 × 20 × 2,25	6,63	8,44	200	75	20,00	2,25	2,25	521,40	52,14	7,86	2,20	5,39	62,42	11,77	2,72	0,14	5118,18	9,91
200 × 75 × 25 × 2,65	7,96	10,14	200	75	25,00	2,65	2,65	621,67	62,17	7,83	2,33	5,67	78,69	15,23	2,79	0,24	6862,49	10,06
200 × 75 × 25 × 3,00	8,96	11,41	200	75	25,00	3,00	3,00	695,55	69,55	7,81	2,33	5,63	87,35	16,90	2,77	0,34	7616,73	10,02
200 × 75 × 25 × 3,35	9,94	12,66	200	75	25,00	3,35	3,35	767,54	76,75	7,79	2,33	5,59	95,62	18,49	2,75	0,47	8338,10	9,97
200 × 75 × 25 × 3,75	11,05	14,08	200	75	25,00	3,75	3,75	847,53	84,75	7,76	2,33	5,54	104,61	20,22	2,73	0,66	9123,30	9,92
200 × 75 × 25 × 4,25	12,41	15,81	200	75	25,00	4,25	4,25	944,12	94,41	7,73	2,32	5,48	115,16	22,25	2,70	0,95	10047,64	9,85
200 × 75 × 25 × 4,75	13,75	17,52	200	75	25,00	4,75	4,75	1036,95	103,69	7,69	2,32	5,42	124,95	24,13	2,67	1,32	10910,56	9,79
200 × 75 × 30 × 6,30	18,23	23,22	200	75	30,00	6,30	6,30	1334,38	133,44	7,58	2,45	5,56	165,28	32,70	2,67	3,07	15417,11	9,77
200 × 100 × 25 × 2,65	9,00	11,46	200	100	25,00	2,65	2,65	750,68	75,07	8,09	3,31	7,89	157,20	23,51	3,70	0,27	13447,29	11,89
200 × 100 × 25 × 3,00	10,13	12,91	200	100	25,00	3,00	3,00	841,08	84,11	8,07	3,31	7,84	175,17	26,18	3,68	0,39	14970,33	11,84
200 × 100 × 25 × 3,35	11,25	14,34	200	100	25,00	3,35	3,35	929,48	92,95	8,05	3,31	7,80	192,50	28,76	3,66	0,54	16438,12	11,79
200 × 100 × 25 × 3,75	12,52	15,95	200	100	25,00	3,75	3,75	1028,07	102,81	8,03	3,30	7,75	211,55	31,59	3,64	0,75	18049,40	11,74
200 × 100 × 25 × 4,25	14,08	17,94	200	100	25,00	4,25	4,25	1147,68	114,77	8,00	3,30	7,69	234,22	34,95	3,61	1,08	19966,65	11,67
200 × 100 × 25 × 4,75	15,62	19,89	200	100	25,00	4,75	4,75	1263,30	126,33	7,97	3,29	7,63	255,66	38,13	3,59	1,49	21779,32	11,60

## Anexo G

### Perfil Ue – Dimensões, massas e propriedades geométricas

Perfil			Dimensões					Eixo x					Eixo y					
Ue	m kg/m	A cm <sup>2</sup>	b <sub>w</sub> mm	b <sub>f</sub> mm	D mm	t = t <sub>n</sub> mm	r <sub>i</sub> mm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	X <sub>g</sub> cm	x <sub>0</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	r <sub>0</sub> cm
250 × 85 × 25 × 2,00	7,17	9,14	250	85	25,00	2,00	2,00	871,52	69,72	9,77	2,43	6,09	88,98	14,67	3,12	0,12	11477,06	11,93
250 × 85 × 25 × 2,25	8,04	10,24	250	85	25,00	2,25	2,25	973,59	77,89	9,75	2,43	6,06	98,87	16,29	3,11	0,17	12755,84	11,89
250 × 85 × 25 × 2,65	9,41	11,99	250	85	25,00	2,65	2,65	1133,79	90,70	9,72	2,43	6,02	114,13	18,80	3,08	0,28	14733,46	11,84
250 × 85 × 25 × 3,00	10,60	13,51	250	85	25,00	3,00	3,00	1270,81	101,67	9,70	2,43	5,97	126,92	20,91	3,07	0,40	16396,10	11,80
250 × 85 × 25 × 3,35	11,78	15,01	250	85	25,00	3,35	3,35	1404,92	112,39	9,68	2,43	5,93	139,21	22,92	3,05	0,56	17996,84	11,75
250 × 85 × 25 × 3,75	13,11	16,70	250	85	25,00	3,75	3,75	1554,63	124,37	9,65	2,43	5,89	152,64	25,13	3,02	0,78	19752,09	11,70
250 × 85 × 25 × 4,25	14,75	18,79	250	85	25,00	4,25	4,25	1736,46	138,92	9,61	2,42	5,83	168,51	27,73	2,99	1,13	21837,62	11,63
250 × 85 × 25 × 4,75	16,36	20,84	250	85	25,00	4,75	4,75	1912,44	153,00	9,58	2,42	5,77	183,39	30,17	2,97	1,57	23805,91	11,57
250 × 85 × 25 × 6,30	21,20	27,00	250	85	25,00	6,30	6,30	2421,27	193,70	9,47	2,41	5,59	223,39	36,70	2,88	3,57	29200,14	11,37
250 × 100 × 25 × 2,65	10,04	12,79	250	100	25,00	2,65	2,65	1255,39	100,43	9,91	2,98	7,29	169,21	24,11	3,64	0,30	21574,59	12,83
250 × 100 × 25 × 3,00	11,31	14,41	250	100	25,00	3,00	3,00	1408,08	112,65	9,89	2,98	7,25	188,58	26,86	3,62	0,43	24048,03	12,78
250 × 100 × 25 × 3,35	12,57	16,01	250	100	25,00	3,35	3,35	1557,77	124,62	9,86	2,98	7,21	207,28	29,52	3,60	0,60	26438,85	12,73
250 × 100 × 25 × 3,75	13,99	17,83	250	100	25,00	3,75	3,75	1725,17	138,01	9,84	2,98	7,16	227,83	32,43	3,58	0,83	29072,02	12,68
250 × 100 × 25 × 4,25	15,75	20,06	250	100	25,00	4,25	4,25	1928,96	154,32	9,81	2,97	7,10	252,32	35,90	3,55	1,21	32218,03	12,61
250 × 100 × 25 × 4,75	17,48	22,27	250	100	25,00	4,75	4,75	2126,71	170,14	9,77	2,97	7,04	275,49	39,18	3,52	1,67	35206,53	12,55
300 × 85 × 25 × 2,00	7,96	10,14	300	85	25,00	2,00	2,00	1339,09	89,27	11,49	2,20	5,64	93,89	14,91	3,04	0,14	17055,02	13,16
300 × 85 × 25 × 2,25	8,92	11,37	300	85	25,00	2,25	2,25	1496,84	99,79	11,48	2,20	5,62	104,32	16,57	3,03	0,19	18966,44	13,13
300 × 85 × 25 × 2,65	10,45	13,32	300	85	25,00	2,65	2,65	1744,85	116,32	11,45	2,20	5,57	120,43	19,12	3,01	0,31	21927,55	13,08
300 × 85 × 25 × 3,00	11,78	15,01	300	85	25,00	3,00	3,00	1957,43	130,50	11,42	2,20	5,53	133,94	21,26	2,99	0,45	24422,19	13,04
300 × 85 × 25 × 3,35	13,10	16,68	300	85	25,00	3,35	3,35	2165,90	144,39	11,39	2,20	5,49	146,91	23,32	2,97	0,62	26828,70	12,99
300 × 85 × 25 × 3,75	14,58	18,58	300	85	25,00	3,75	3,75	2399,14	159,94	11,36	2,20	5,45	161,08	25,57	2,94	0,87	29473,26	12,94
300 × 85 × 25 × 4,25	16,42	20,91	300	85	25,00	4,25	4,25	2683,21	178,88	11,33	2,20	5,39	177,84	28,22	2,92	1,26	32623,96	12,88
300 × 85 × 25 × 4,75	18,23	23,22	300	85	25,00	4,75	4,75	2959,01	197,27	11,29	2,20	5,33	193,55	30,71	2,89	1,74	35606,89	12,82
300 × 85 × 25 × 6,30	23,67	30,15	300	85	25,00	6,30	6,30	3762,03	250,80	11,17	2,19	5,16	235,82	37,40	2,80	3,98	43837,92	12,62
300 × 100 × 25 × 2,65	11,08	14,11	300	100	25,00	2,65	2,65	1920,58	128,04	11,67	2,72	6,79	178,97	24,57	3,56	0,33	32115,67	13,96
300 × 100 × 25 × 3,00	12,49	15,91	300	100	25,00	3,00	3,00	2155,90	143,73	11,64	2,71	6,75	199,46	27,37	3,54	0,48	35827,35	13,91
300 × 100 × 25 × 3,35	13,88	17,69	300	100	25,00	3,35	3,35	2387,01	159,13	11,62	2,71	6,71	219,25	30,08	3,52	0,66	39422,06	13,87
300 × 100 × 25 × 3,75	15,46	19,70	300	100	25,00	3,75	3,75	2645,98	176,40	11,59	2,71	6,66	241,02	33,06	3,50	0,92	43389,66	13,82
300 × 100 × 25 × 4,25	17,42	22,19	300	100	25,00	4,25	4,25	2962,01	197,47	11,55	2,71	6,60	266,95	36,61	3,47	1,33	48142,60	13,75
300 × 100 × 25 × 4,75	19,34	24,64	300	100	25,00	4,75	4,75	3269,56	217,97	11,52	2,70	6,54	291,49	39,96	3,44	1,85	52671,43	13,69